

# Grundlagen für die Entwicklung ökologisch hochwertiger Dämmplattenverbundsysteme auf Basis nachwachsender Rohstoffe

Ökodämm

N. Mundigler  
E. Sykacek  
C. Schübl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 16/2014

**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 Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Grundlagen für die Entwicklung ökologisch hochwertiger Dämmplattenverbund- systeme auf Basis nachwachsender Rohstoffe

Univ. Ass. Prof. Dr. Norbert Mundigler, DI Eva Sykacek  
Universität für Bodenkultur, Wien  
Interuniversitäres Department für Agrarbiotechnologie,  
Institut für Naturstofftechnik

Christine Schübl, B.A.  
Waldviertler Flachshaus GmbH

Wien/Tulln, März 2013

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at) Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

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

---



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	7
Abstract .....	9
1 Einleitung.....	11
1.1 Motivation zu diesem Projekt .....	11
1.2 Ausgangssituation .....	11
1.3 Ziele des Projektes .....	12
1.4 Entwicklungsrisiken .....	12
1.5 Beschreibung des Standes der Technik.....	13
1.6 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	13
1.7 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts) .....	14
1.8 Verwendete Methoden .....	14
Labortests zur Substitution des Borsalzes .....	14
Nasslegeversuche an der Labor-Krempelanlage .....	14
Industrielle Versuche an der Produktionsanlage des Waldviertler Flachshauses ..	15
Erhöhung der Querkzugfestigkeit.....	18
Prüfungen .....	18
1.9 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung.....	21
2 Ergebnisse des Projektes.....	22
2.1 Querkzugfestigkeit .....	22
2.2 Produktion von Dämmstoffen mit oxidiertem Maisstärke .....	23
2.3 Produzierbarkeit borsalzfreier Dämmstoffe und resultierender Brandschutz .....	23
Dämmstoffe mit Natriumwasserglas BT39 .....	23
Dämmstoffe mit verschiedenen Wassergläsern .....	24
Dämmstoffe mit Phosphor- basierten Flammschutzmittel .....	26
2.4 Ergebnisse der Versuche zur Systemherstellung.....	28
2.5 Ökonomische Bewertung .....	29
3 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms .....	30
3.1 Einpassung in das Programm .....	30
3.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms .....	30
3.3 Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt .....	31

3.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse .....	31
4	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen .....	32
5	Ausblick und Empfehlungen .....	33



# Kurzfassung

## Ausgangssituation/Motivation

Die am Markt erhältlichen biogenen Dämmstoffe sind überwiegend auf Innenanwendungen beschränkt, und enthalten für den Brand-, Pilz- und Insektenschutz ökotoxikologisch und toxikologisch bedenkliche Zusatzstoffe wie halogenorganische Verbindungen oder Borate. Für die Entwicklung einer verputzbaren Außendämmplatte aus Naturfasern weisen die hergestellten Faserdämmplatten des Waldviertler Flachshauses zu geringe Querkzugfestigkeiten auf.

## Inhalte und Zielsetzungen

Ziel dieses Projektes war es, in Kooperation des Institutes für Naturstofftechnik, des Waldviertler Flachshauses und der Firma New starch die Grundlagen für die Herstellung von ökologisch unbedenklichen Wärmedämmverbundsystemen aus Naturfasern zu erarbeiten. Die Arbeitsschwerpunkte lagen in der Substitution des derzeit als Flammschutzmittel verwendeten Bor-Salzes, Erhöhung der Querkzugfestigkeit und Entwicklung einer hydrophoben Endbeschichtung, wobei das Hauptaugenmerk auf dem Prinzip der Nachhaltigkeit, der Energieeffizienz und dem vollkommenen Verzicht von ökologisch- und toxikologisch bedenklichen Zusatzstoffen lag.

## Methodische Vorgehensweise

Um einen kosteneffizienten Vergleich vieler verschiedener ökologischer Flammschutzmittel durchzuführen, deren Kompatibilität mit Stärkeleimen und Naturfasern zu beurteilen sowie die Effizienz dieser Leimflotten hinsichtlich Klebekraft zu bestimmen, wurden Schnell-Flammtests an Papieren und Dämmplatten entwickelt. Die notwendigen Produktionsversuche wurden an der Krepelanlage des Waldviertler Flachshauses durchgeführt. Zur Erhöhung der Querkzugfestigkeit wurden verschiedene Vernadelungs-Parameter wie Nadeltyp, Nadelanzahl und Einstichdichte variiert. Die durchgeführten Prüfungen umfassten analytische Methoden, Prüfungen der Querkzugfestigkeiten, des Brandverhaltens, der Wärmeleitfähigkeit und Resistenztests gegen Schimmelbewuchs.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Nachträgliche Vernadelung der Dämmstoffe führt bis zu einer Vervierzigfachung der ursprünglichen Querkzugfestigkeit. Aufgrund der dadurch bewirkten Reduzierung der Dämmstoffdicke wird der Wärmedurchgangswiderstand bei einer annähernd gleich bleibenden Wärmeleitfähigkeit um 60% vermindert. Neben der Rohdichte zeigt auch eine steigende Materialfeuchte praktisch keinen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit. Die Substitution des Borat- Flammschutzes ist aufgrund des verwendeten Nasslegeverfahrens und des geforderten Klebkrafterhalts des Leimes erschwert. Wassergläser zeigen kein selbstverlöschendes Brandverhalten aber erhöhen die Klebekraft. Hochpreisigere Ammonium- Polyphosphate bieten in entsprechender Auftragsmenge ausreichenden

Brandschutz. Die erzielbare Formsteifigkeit ist allerdings geringer als bei Verwendung der Borat-Stärke bzw. Wasserglas-Stärkeleime. Enormes Einsparungspotential an Rohstoffkosten wurde für die Produktionsanlage durch Nachweis hoher Leim-Abdrift aufgedeckt.

## **Ausblick**

In dem vorliegenden Projekt konnten trotz zahlreicher technischer Herausforderungen die Grundlagen für die Entwicklung ökologisch und technisch hochwertiger, verputzbarer Flachfaser-Dämmstoffe erarbeitet werden. Für die Umsetzung dieser Ergebnisse an der Produktionsanlage ist aus wirtschaftlichen Gründen eine Optimierung der Produktionsanlage hinsichtlich Materialverluste zwingend erforderlich. Praxistests zur Ermittlung der tatsächlich in dieser Anwendung geforderten Querkzugfestigkeit sollten ermittelt werden, um das Optimum zwischen Querkzugfestigkeit und Rohdichte bzw. Materialbedarf zu ermitteln, und die Eignung der verputzten Fassadendämmplatte für diese Anwendung zu evaluieren.

# **Abstract**

## **Starting point/Motivation**

Currently, commercially available insulation materials are primarily restricted to in-house utilisation. Furthermore, most insulation materials still contain toxicological and eco-toxicological constituents as organic halogen compounds and the most widely used boric compounds. The mechanical properties of current insulation boards are too low to facilitate outdoor use.

## **Contents and Objectives**

The task of this project is to determine the basic principles and industrial possibilities for manufacturing an insulation board for outside-use, which is composed of natural fibers. The activities include substitution of boric compounds, increasing the transverse tensile strength and development of a hydrophobic coating. Key aspects of this study are the compliance of sustainability, the increase in energy efficiency and the total abandonment of toxicological and eco-toxicological constituents in favor of natural alternatives.

## **Methods**

A rapid test method was developed using papers as well as fiber boards to assess the adhesive power and fire protecting potential of the designed pastes and surfactants. Due to substantial technical problems in the pilot plant and inability to simulate the production process, all of the carding trials had to be performed using the production plant. To enhance the transversal tensile strength, different parameters of the needling process as for example type and number of needles and intensity of penetration were varied and evaluated. Further methods included chemical analyses, flammability tests, measurements of the transversal tensile strength, determination of thermal conductivity and resistance tests to certain mildew species.

## **Results**

Subsequent applied needling increased the transversal tensile strength forty fold while reducing the thickness of the insulation boards by 60%. In consequence the heat transfer resistance was reduced analogically while the thermal conductivity was nearly maintained. The latter was not influenced by increasing moisture in the insulation boards as well. The assortment of ecologically harmless flame retardants was constricted due to the required processability on the production plant and maintenance of the adhesive power of the starch pastes. Silicates increased the adhesive power of the glue. However the fire protection was too low. Ammonium- polyphosphate decreased the stiffness of the insulation boards compared to the borate- starch and silicate- starch glues. In sufficient concentration these environmentally harmless compounds provided satisfying fire protection to the insulation boards. The trials performed on the production plant revealed an incredible loss of glue up to

50%, which demonstrates the possibilities to increase the economic performance of the current production.

## **Prospects / Suggestions for future research**

Despite numerous technical challenges, the development of an ecologically and technically valuable insulation board consisting of over 95% renewable resources succeeded. The production of this product is currently not realisable because of economic issues. Further optimisations in the production plant are required to improve the loss of raw material during the wet carding process. Practical tests should be carried out to assess the required ratio of transverse tensile stress and fiber consumption. The performance of the developed insulation board in outside use needs to be evaluated.

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation zu diesem Projekt

Mit der Entwicklung ökologischer und energieeffizienter Gebäudekonzepte, wie dem des Passivhauses, werden ökologische Bauprodukte seitens der Baustoffhändler und der Privatkunden immer stärker gewünscht. Trotz der am Markt erhältlichen Vielfalt an biogenen Dämm-Materialien auf Basis von Holzfasern, Schafwolle, Zellulose oder Naturfasern ist der Einsatz dieser Produkte überwiegend auf Innenanwendungen wie Innen- und Zwischenwände, Decke, Dachdämmung und Trittschalldämmung von Böden beschränkt. Viele der kommerziell erhältlichen Dämmstoffe enthalten zusätzlich für den Brand-, Pilz- und Insektenschutz toxikologisch und ökotoxikologisch bedenkliche Zusatzstoffe, wie Eulan®, Mitin® oder Borate. In erster Linie werden für den Brandschutz dieser Produkte Borverbindungen verwendet. Borate stehen im Verdacht, fortpflanzungsgefährdende Wirkung zu haben, wobei die toxikologische Wirkung im Wesentlichen von der Einsatzkonzentration abhängt. Die Minderung dieser Stoffe als Flammschutzmittel wird empfohlen, da die Hintergrundbelastung über die Nahrung bereits so hoch ist, dass die pro Tag akzeptable Aufnahmemenge ausgeschöpft ist. Auch ein negativer Einfluss im Fall einer thermischen Nachnutzung bei zu hohem Brandschutzsalzgehalt ist nicht auszuschließen. Grundvoraussetzungen für baubiologisch optimale Dämmstoffe sind der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen sowie der Verzicht auf ökologisch und toxikologisch bedenkliche Hilfsmittel, die auch in natürlichen Dämmstoffen nach wie vor breite Anwendung finden. Neben toxikologischen Brand- und Insektenschutzmittel werden auch synthetische Bindemittel auf Basis von Polyvinylacetaten, Polyestern und Polyurethanen eingesetzt. Eine Substitution von synthetischen Fasern und Bindemittel würde zu einer erheblichen Umweltentlastung und Verminderung von Gesundheitsgefährdungen beitragen. Solche Naturfaserwerkstoffe könnten nicht nur recycelt und weitgehend „CO<sub>2</sub>-neutral“ verbrannt werden, sondern ermöglichen auch über die Kompostierung geschlossene Kreislaufwirtschaften.

## 1.2 Ausgangssituation

Mit der Entwicklung einer mittels Nassverfahren erzeugten Flachsfaser- Dämmplatte im Jahre 2000 wurde der Grundstein des Waldviertler Flachshauses gelegt. Die Flachsfasern werden zuerst auf einer Krempelanlage (Textilmaschine) mittels Nadelwalzen zu dünnen Vliesbahnen verfilzt. Das Faservlies wird in einem nächsten Schritt mit einem wässrigen Kartoffelstärkeleim, dem für den Brand- und Pilzschutz ein Borat haltiges Flammschutzmittel zugesetzt wird, über eine Vor- und eine Hauptbesprühung besprüht. Durch schichtweise Überlagerung mehrerer Vliese können Dämmstoffdicken zwischen 3 und 20cm erzielt werden. Die beleiteten, übereinandergeschichteten Vlieslagen verbinden sich in der anschließenden Trocknung zu einer formstabilen Platte. Der Einsatz des Produktes ist auf Innen-Dämmungen beschränkt.

### **1.3 Ziele des Projektes**

Ziel dieses Projektes war es, die Grundlagen für die Herstellung einer ökologisch und toxikologisch unbedenklichen, verputzfähigen Naturfaser- Dämmplatte zu erarbeiten, die im Außenbereich eingesetzt werden kann. Die Themenschwerpunkte lagen auf dem Prinzip der Nachhaltigkeit, der Steigerung der Energieeffizienz als auch auf dem vollkommenen Verzicht von ökologisch- und toxikologisch bedenklichen Zusatzstoffen.

Trotz der bauphysikalischen Vorteile von Flachfasern setzte die Realisierung einer verputzfähigen Dämmplatte eine höhere Querkzugfestigkeit der Dämmvliese voraus, als mit dem damaligen Stand der Technik realisiert werden konnte. Um einen ökologisch hochwertigen Naturfaser- Dämmstoff zu entwickeln, war die Substitution des eingesetzten Borat- Flammshutzes Grundvoraussetzung. Ein weiterer Nachteil der aus Naturfasern hergestellten Dämmstoffe ist deren Hygroskopizität. Naturfasern haben die besondere Eigenschaft, feuchtigkeitsregulierend zu wirken, diese prinzipiell positive Eigenschaft wirkt sich jedoch bei einer Fassadendämmplatte nachteilig aus. Deshalb war die Anbringung einer hydrophoben Endbeschichtung auf der Dämmstoffplatte ein weiteres Teilziel dieses Projektes.

### **1.4 Entwicklungsrisiken**

Die technischen Herausforderungen in diesem Projekt resultierten in erster Linie durch die, aus ökologischer Sicht, notwendigen Substitution der Borsalze und dem aus technischer Sicht notwendigem Zusatz von Hydrophobierungsmittel. Der Grund dafür lag in der Multifunktionalität von Boraten. Sie dienen als Vernetzungskomponente für Kohlenhydrate (Stärke), bieten den notwendigen Brandschutz, schützen vor Schädlingsbefall und reduzieren zusätzlich die Wärmeleitfähigkeit. Dadurch waren mehrere verschiedene Additive auf Basis nachwachsender und mineralischer Rohstoffe notwendig. Das Bindemittelsystem musste die Naturfaservliese hinsichtlich Brand- und Insektenschutz ausrüsten, für die notwendige Hydrophobierung der Fasern sorgen und durfte das Bindevormögen der Stärke nicht reduzieren. Dabei musste sowohl auf die Kompatibilität aller Komponenten als auch auf die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems hinsichtlich Querkzugfestigkeit, Dämmvermögen, Brandverhalten, Rohdichte und Verputzfähigkeit geachtet werden. Die Auswahl an kommerziellen, ökologisch unbedenklichen Flammshutzmitteln war durch das verwendete Herstellungsverfahren sowie durch hohe Produkt-Preise eingeschränkt. Aufgrund der erforderlichen Verarbeitung mit Spritzautomaten musste bei der Selektion der Flammshutzmittel auf eine ausreichende Lösung bzw. Suspendierung der Wirkstoffe geachtet werden, da eine Verlegung der Düsen die Produktion nachhaltig beeinträchtigt hätte. Sorgfalt musste auch hinsichtlich der Korrosivität der getesteten Substanzen angewendet werden, um den Leimkocher sowie die Zuleitungen nicht zu beschädigen. Weitere Herausforderungen ergaben sich aus den bei diesem Produktionsverfahren auftretenden, hohen Leim- und Faserverluste. Dies verhinderte die Berechnung der tatsächlich in den Dämmstoffen enthaltenen Leimanteile anhand der Materialeinwaagen.

Zusätzliche Methoden wie enzymatische Stärkebestimmung oder Messung des Silikatascheanteils mussten entwickelt und angewandt werden um die Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich Querszugfestigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Brandfestigkeit zu ermöglichen.

## **1.5 Beschreibung des Standes der Technik**

Obwohl in den letzten Jahren zahlreiche Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen entwickelt und technisch optimiert wurden, gibt es nach wie vor eine marktbeherrschende Position der synthetischen Dämmstoffe, wie Polystyrol, Styrodur und Mineral- sowie Glaswolle. Die am Markt erhältlichen biogenen Dämmstoffe werden aus nachwachsenden Rohstoffen wie Kork, Kokosfasern, Holz, Zellulose, Baumwolle Schafwolle sowie aus Hanf und Flachsfasern hergestellt. Als Brandschutz- und Bindemittel werden je nach Ausgangsmaterial Kartoffelstärke, Wasserglas, Polyesterfasern und synthetische Bikofasern verwendet. Weitere Zusatzstoffe für den Brand-, Pilz- und Insektenschutz umfassen halogenorganische Verbindungen wie Eulan® oder Mitin®, Ammonium-Phosphate, Borsalze und Borax. Dadurch wird der ökologische Wert der Naturmaterialien teils wesentlich beeinträchtigt und die Kompostierbarkeit verhindert. Kommerziell sind die Dämmmaterialien als Platten, Matten, Vliese, Schüttgüter, Aufspritzdämmungen und Einblasdämmungen erhältlich. Trotz dieser Vielfalt ist der Einsatz dieser Produkte überwiegend auf Innenanwendungen wie Innen- und Zwischenwände, Decke, Dachdämmung und Trittschalldämmung von Böden beschränkt.

Für Außenfassaden sind im Bereich der nachhaltigen Baustoffe derzeit überwiegend Wärmedämmverbundsysteme auf Basis von Holzfasern erhältlich. Die Funktionalität dieser Systeme wird in der Regel durch schichtweisen Aufbau von Holzfaserplatten unterschiedlicher Rohdichten realisiert, die notwendigen Festigkeiten werden durch Zugabe von Polyvinylacetaten oder Polyurethankleber erreicht. In der Endverarbeitung aufwendigere Lösungen für Außendämmungen aus ökologischen Baustoffen erfordern geeignete Putzträgerplatten und entsprechende Montageleisten.

## **1.6 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema**

Bezüglich der Entwicklung eines Wärmedämmverbundsystems aus Naturfasern wurden bereits Anstrengungen durch das Waldviertler Flachshaus getätigt. Das Ziel des Projektes, die Herstellung von Prototypen eines Wärmedämmverbundsystems, konnte aufgrund mangelnder Hydrophobierung und Haftzugfestigkeit nicht erreicht werden.

## **1.7 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)**

Dämmstoffe aus Flachs- und Hanffasern haben im Vergleich zu denen aus Holzfasern einen wesentlich niedrigeren Primärenergieaufwand, bessere Diffusionswiderstände und in der Regel niedrigere Rohdichten. Ein weiterer Vorteil ist die durch natürliche Bitterstoffe gegebene Resistenz gegen Fäulnis, Ungeziefer, Schimmel und Nagetiere. Trotz der Vorteile dieser Naturfasern ist kommerziell kein Produkt aus Flachs- oder Hanffasern erhältlich, das für Außendämmungen geeignet wäre.

Die im Zuge dieses Projektes angestrebte Naturfaserdämmplatte erfordert keinen Einsatz eines zusätzlichen Baustoffes, da diese Platte direkt verputzbar sein soll. Mit dieser Dämmtechnik sollte aufgrund der Ersparnis von Putzträgerplatten ein höherer Dämmstoffanteil bei gleicher Außenwanddicke eingesetzt werden können, wodurch das Potential der Energieeinsparung besser genutzt wird. Im Vergleich zu den konventionellen Wärmedämmverbundsystemen auf Basis nachwachsender Rohstoffe wird somit bei gleicher Außenwandstärke eine geringe Wärmedurchlässigkeit erreicht.

## **1.8 Verwendete Methoden**

### **Labortests zur Substitution des Borsalzes**

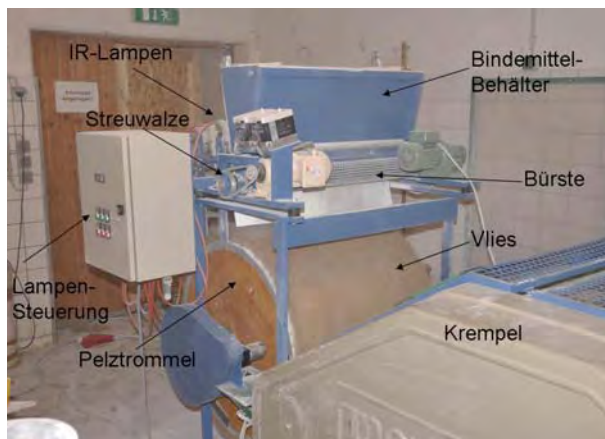
Der in der Produktion verwendete Originalleim besteht aus Stärke und Borat-haltigem Flamm- und Vernetzungsmittel. Der Standardleim hat einen Feststoffgehalt von ca. 22% und bei Raumtemperatur eine Scherviskosität (1000/s) um 30 mPas.

Zur Optimierung der Stärkeleimflotten wurde in den Laborversuchen dieselbe Stärke wie in der Produktion verwendet. Die Stärke wurde zunächst ca. 20 min. lange gekocht, wobei der Wassergehalt des Leims meistens auf 75% eingestellt wurde. Nach Abkühlung wurden die weiteren Additive Flammschutzmittel zugegeben. Die für die Entwicklung der Leime ausgewählten Rohstoffe entsprechen höchstens Wassergefährdungsklasse 1. Als Brandschutzmittel wurden Harnstoff, Soda, Magnesiumhydroxid, Natron, Stickstoff-Phosphorverbindungen sowie verschiedene Wassergläser (Silikate) und Ammonium-Polyphosphate in Konzentrationen zwischen 10 und 100% getestet. Für die Vernetzung der Stärke wurden zwischen 2 und 20% verschiedener Zirkoniumkarbonate zugegeben.

### **Nasslegeversuche an der Labor-Krempelanlage**

Für die Versuche der Nasslegung wurde die mit Infrarotlampen ausgestattete Labor-Krempelanlage (Abb.1) mit frei drehbar montierten Spritzautomaten und einer Druckwalze adaptiert. Für die ersten Versuche wurden leicht geröstete Flachsfasern verwendet. Bei der 2. Flachslieferung für die Laborversuche waren die Fasern wesentlich dunkler und stärker geröstet. Die Flachsfasern wurden mit 10- 30% ungerösteten Hanffasern im Faserwolf gemischt und aufgeschlossen. Um eine ausreichende Dämmstoffdicke zu erzielen wurden bis zu 10kg Fasern für einen Versuch verwendet.





**Abbildung 1: Versuchs-Krempelanlage in Tulln**

## Industrielle Versuche an der Produktionsanlage des Waldviertler Flachshauses

### 1.8.1.1 Produktionsversuche mit anderen Stärketypen



Es wurden alternative Stärkeprodukte recherchiert und an der Produktionsanlage getestet. Im Laborversuch wurden zwei Leimflotten mit 65 und 50% eines Maisstärke-Derivates sowie eine Referenz-Leimflotte mit 65% der Standard-Kartoffelstärke hergestellt. Aufgrund der höheren Homogenität und geringeren Viskosität wurde für den Versuch mit der Produktionskrempelanlage (Abb. 2) die geringere Konzentration der oxidierten Maisstärke verwendet.

**Abbildung 2: Krempelanlage des Waldviertler Flachshauses**

### 1.8.1.2 Produktionsversuche zur Substitution des Borsalz- Flammschutzes

Auf der Produktionsanlage wurden 3 Großversuche mit reinen Flachsfasern und alternativen Flammschutzmitteln durchgeführt. Zur Erzielung einer Mattenstärke von 5cm wurde die Bandgeschwindigkeit des Trockners auf eine Geschwindigkeit von 1,4m/min gestellt. In diesen Versuchen wurde aufgrund der vorab durchgeführten Berechnungen ein Gesamtleimaustrag von 2,5l/min angestrebt, um in den Dämmstoffplatten einen Bindemittelanteil von 15%TS zu erzielen.

Im ersten Produktionsversuch wurden für die Verklebung der Dämmstoffe das Natrium-Wasserglas BT 39 (siehe Tabelle 1) pur und in Kombination mit dem Stärkeleim verwendet. Letzterer wurde auf einen Wassergehalt von 75% bzw. Feststoffgehalt von 25% eingestellt. Das Wasserglas wurde wie geliefert verwendet.

Im zweiten Produktionsversuch mit alternativen Flammschutzmitteln wurden verschiedene Wassergläser (siehe Tabelle 1) getestet. Das in Tabelle 1 angeführte Modul gibt das Gewichtsverhältnis von Kieselsäure zu Natriumsalz beziehungsweise zu Kaliumsalz an. Bei einem Modul unter 1,6 wäre das Produkt aufgrund der Ätzwirkung kennzeichnungspflichtig.

**Tabelle 1: Eigenschaften der getesteten Wassergläser**

Produkt	Beschreibung	pH-Wert (20°C)	Feststoff-Gehalt	Schervisk.* [mPas]	Modul
BT39	modifiziertes Natriumsilikat	11,3	36	81	3,2
BK50	modifiziertes Kaliumsilikat	12,5	49	130	1,6-2,6
HK35	modifiziertes Natriumsilikat	11,3	33	97	3,7
BT52	modifiziertes Natriumsilikat	12,5	45	416	1,6-2,6

\* Die Scherviskositäten wurden am IFA bei einer Scherrate von 1000/s gemessen.

Neben den reinen Wassergläsern wurden die Produkte BK50 sowie HK35 in diesem Versuch auch in Kombination Stärke verwendet (BT52 erwies sich in den Vorversuchen als Stärke-unverträglich). Die Viskosität der Wassergläser und Wasserglas- Stärkeleime wurde durch Variation des Wassergehaltes auf ca. 30mPas eingestellt.

Im dritten Produktionsversuch zur Substitution des Borsalzes wurden Stärkeleime mit flüssigen Phosphatverbindungen als Flammschutzmittel getestet. Die verwendeten Produkte sind in Tabelle 2 beschrieben.

**Tabelle 2: Eigenschaften der getesteten phosphorbasieren Flammschutzmittel**

Produkt	Beschreibung	pH-Wert (20°C)	Feststoff-Gehalt	Schervisk.* [mPas]
NF	Phosphor- Stickstoffverbindung		55	2,39
FM	Phosphor- Stickstoffverbindung	2,5-4	50	2,35
PF	Ammonium-Polyphosphat	7,0	42,5	—

\*Die Scherviskosität wurde am IFA bei Raumtemperatur und einer Scherrate von 1000/s gemessen.

Für die Tests der Flammschutzmittel FM und NF wurde zuerst der Stärkeleim mit der höchsten Konzentration von 8% Flammschutzmittel (bezogen auf die Leim- Nassbasis) zubereitet. Nach Fertigstellung der Matten wurden vor der Halle Brandtests durchgeführt, und bei zufriedenstellenden Ergebnissen der folgende Leim mit einer niedrigeren Flammschutzmittelkonzentrationen zubereitet. Das Ammonium-Polyphosphat PF konnte aufgrund Materialknappheit nur in einer Konzentration eingesetzt werden. Die getesteten Konzentrationen an Flammschutzmittel sind in Tabelle 3 angeführt.

**Tabelle 3: Getestete Rezepturen des 3. Produktionsversuches**

<b>Leim-Variante (Rez. 37)</b>	<b>%TS Flammschutz bezogen auf Leim-NB</b>
8 A	8% NF
8 B	4% NF
8 C	6% NF
9 A	8% FM
9 B	4% FM
9 C	3% FM
9 D	2,1% FM
10	2,7% PF

### 1.8.1.3 Produktionsversuche zur Erhöhung der Formstabilität bzw. Bindemittelanteils

Da in allen Produktionsversuchen zur Substitution des Borat-Flammschutzmittels nachgewiesen, sehr hohe Leimverluste auftraten, wurden seitens des Waldviertler Flachshauses weitere Versuche an der Produktionsanlage zur Optimierung der Formsteifigkeit bzw. des Bindemittelanteiles durchgeführt. Zunächst wurden zwei neue Sprühdüsen (Düse A – 0,5mm Durchmesser; Düse B- 0,8mm Durchmesser) an der



Hauptbesprühung getestet (Abb. 3). Für die Versuche wurde die Leimrezeptur 37/ 9A mit 8% TS des Flammschutzmittels FM, bezogen auf die Leim-Nassbasis, herangezogen und verschiedene Auftragsmengen durch Variation des Materialdruckes an der Hauptbesprühung getestet.

**Abbildung 3: Düse A (blau); Düse B (orange)**

In dem zweiten Produktionsversuch zur Optimierung des Bindemittelanteiles sollte der Bindemittelanteil durch Erhöhung der Auftragsmenge an der Vorbesprühung verbessert werden. Aufgrund des im Vergleich zur Hauptbesprühung geringeren Abstandes zwischen Vliesen und Düsen sollte der durch Abdrift verursachte Leimverlust niedriger sein.

Verwendung von 0,8mm weiten Sprühöffnungen an größeren luftunterstützten Sprühdüsen wurden insgesamt 7 Legeversuche durchgeführt. Die Materialdrücke der Vorbesprühung wurden bei einem Anfangsdruck von 2,2bar jeweils um 0,2 bar gesteigert, während der Materialdruck der Hauptbesprühung mit 3,2 bar konstant gehalten wurde.

In dem zuletzt durchgeführten Produktionsversuch wurde versucht, eine formstabile bzw. verkaufsfähige Dämmplatte durch stufenweise Erhöhung des Stärkeanteiles des Leimes 37/9A zu erzielen.

## **Erhöhung der Querzugfestigkeit**

### **1.8.1.4 Vernadelung mit einer Arbeitsbreite von 30 cm**

Zu Projektbeginn wurden die Muster der vom Waldviertler Flachshaus hergestellten Standardplatten ÖKD 0-0 unter Variation der Nadelanzahlen, der Nadeltypen „32“ und „36“ sowie der Förderbandgeschwindigkeit bzw. Einstichdichte vernadelt. Alle Proben wurden nach dem ersten Durchlauf gewendet und nochmals vernadelt, um eine zweiseitige Vernadelung zu erreichen. Nach diesen Versuchen wurde diese Vernadelungsanlage auf eine Arbeitsbreite von 50cm erweitert, da für die Prüfungen der Wärmeleitfähigkeit größere Probendimensionen von 50x50cm benötigt werden.

### **1.8.1.5 Systemherstellung**

Für die Entwicklung einer hydrophoben Endbeschichtung der Dämmstoffe wurden 9x15cm große FM-Stärke-gebundene Proben im Tauchverfahren mit verschiedenen Hydrophobierungsmitteln beschichtet, getrocknet und die Wasseraufnahme nach 15 Minuten Wasserlagerung sowie 5 Minuten Abtropfzeit gemessen. Getestet wurden eine in Ammoniak gelöste Naturkautschukemulsion, die, für die Imprägnierung von Dämmstoffen geeignete, Silan/Siloxanemulsion sowie zwei handelsübliche Hydrophobierungsmittel für Holz (Holzöl & Bienenwachsemulsion).

Im Zuge der Systemherstellung wurden die Dämmstoffproben mit der höchsten Konzentration an FM des letzten Großversuches vernadelt. Die Proben wurden unter Verwendung von 385 Nadeln (Typ: 19) bei einer Einzugs geschwindigkeit von 100cm/min zweiseitig vernadelt und auf Abmessungen von 34x34cm ausgestanzt. Aufgrund der geringen Mattenstärke wurden jeweils 2 der Dämmstoffmatten mit Stärkeleim verklebt, oberflächlich mit Bienenwachsemulsion imprägniert und mit jeweils 1-2kg einer Innenspachtelmasse sowie eines Außenmörtels beschichtet.

## **Prüfungen**

### **1.8.1.6 Viskositätsmessungen der Leime**

Um die Verarbeitbarkeit der entwickelten Leime an der Produktionsanlage zu gewährleisten wurden die Scherviskositäten des Originalleimes und der optimierten Stärkeleime mit dem Rheometer Rheolab MC 100 (Physica) gemessen. Es wurde eine Scherrate von 1000/s gewählt, da diese der Scherbelastung bei Spritzverfahren entspricht.

### **1.8.1.7 Querzugprüfung**

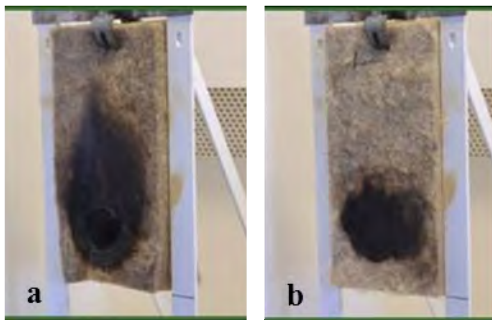
Für die Durchführung der Querzugfestigkeit in Anlehnung an EN 1607 (Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene) wurden Dämmstoffproben mit 15x15cm ausgestanzt und mit Polyvinylacetat (PVAc- Leim an jeweils zwei Spanplatten, zur Befestigung an der Prüfmaschine, geklebt. Die Zugprüfungen wurden mit der Frank Universalprüfmaschine 81816 durchgeführt.

### 1.8.1.8 Screening-Flammtests an Papierproben

Um das Brandverhalten der Leimflotten sowie deren Bindekräfte relativ schnell und kostengünstig zu testen, wurden für jede der testbaren Rezepturen Papierblätter zusammengeklebt, bei 105 °C getrocknet und im Normklima klimatisiert. Die Proben wurden auf der Unterseite der Proben kantig unter Verwendung einer Standard-Metall-Lötlampe mit einer ca. 30 mm hohen Flamme 20 Sekunden lang beflammt. Zur Beurteilung wurde die, in dieser Zeit durch den Brand entstandene, mittlere Lochhöhe gemessen.

### 1.8.1.9 Screening- Flammtests an Naturfaserdämmstoffen

Aus den vom Waldviertler Flachshaus hergestellten, borsalzfreien Platten wurden Proben ausgestanzt, oberflächlich mit wässrigen Lösungen an Flammschutzmittel behandelt, getrocknet und vor der Brandprüfung 3 Tage klimatisiert. Die Auftragsmengen in Trockensubstanz der Flammschutzmittel entsprachen bei jeder Probe 4%wt



(Ausgleichsfeuchte). Der innere Flammenkegel der Lötlampe wurde auf 25 mm gestellt (Gesamtlänge ca. 85 mm). Die Proben wurden mittig mit einem Abstand vom unteren Rand von 5 cm 60 sec lang beflammt. Für die Charakterisierung des Brandverhaltens wurden die Mittelwerte der entstandenen Brandflächen und Tiefen der Brandlöcher zweier Proben herangezogen (Abb. 4).

**Abbildung 4: Borsalz-freie (a) und Borsalz-hältige Dämmstoffe (b) nach Beflammung**

### 1.8.1.10 Silikataschebestimmung

Nach den Produktionsversuchen mit den Wassergläsern wurden Silikataschebestimmungen durchgeführt, um den in den produzierten Matten enthaltenen Leimanteil zu approximieren. Die Dämmstoffproben wurden vorverascht und anschließend im Muffelofen bei 950°C über 10 Stunden lang auf den Silikatanteil reduziert. Je nach verwendeter Zusammensetzung zwischen Wasserglas und Stärke wurde der Leimanteil der Mattenproben kalkuliert.

### 1.8.1.11 Enzymatische Stärkebestimmung

Für die quantitative Bestimmung des Leimanteiles der Ammoniumpolyphosphat-Stärke-Bindemittel wurde ein Stärke-Kit (Boehringer Mannheim) verwendet. Auf Basis des enzymatisch bestimmten Stärkeanteils wurde der Gesamt-Leimanteil analog den Zusammensetzungen zwischen Stärke und Flammschutzmittel unter Korrektur der Wiederfindung für die modifizierte Stärke berechnet.

### 1.8.1.12 Prüfungen des Brandverhaltens (Extern)

Der Originaldämmstoff des Waldviertler Flachshauses, eine rein- stärkegebundene Flachsfaserplatte und der mit dem Natriumwasserglas BT52 verklebte Dämmstoff des 2. Produktionsversuches am Technologischen Gewerbemuseum (TGM) analog ÖNORM A

3800-1 (Brandverhalten von Materialien, ausgenommen Bauprodukte - Teil 1: Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen) untersucht. Nach dem letzten Versuch auf der Produktionsanlage mit den verschiedenen Phosphorverbindungen wurden am TGM zunächst vororientierende Prüfungen nach ÖNORM EN 11925-2 (Prüfungen zum Brandverhalten - Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung - Teil 2: Einflammtest) und anschließend vollständige Normprüfungen durchgeführt.

#### **1.8.1.13 Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit**

Die Prüfung der Wärmeleitfähigkeit erfolgte durch die Kompetenzzentrum Holz GmbH analog der Normen EN 823 (Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmung der Dicke) und ISO 8302 (Wärmeschutz - Bestimmung des stationären Wärmedurchlaßwiderstandes und verwandter Eigenschaften - Verfahren mit dem Plattengerät) bzw. - EN 12667 (Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät - Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand). Mit dem Messgerät  $\lambda$ -Meter EP500 (Lambda-Messtechnik GmbH Dresden) wurde die Wärmeleitfähigkeit nach dem Einplattenverfahren bestimmt. Getestet wurden 50x50cm große Proben des Originaldämmstoffes (Waldviertler Flachshaus) sowie der vernadelten und unvernadelten Dämmstoffe des Produktionsversuches mit der höchsten Konzentration FM. Jeweils 2 Proben wurden nach Trocknung bei 70°C und nach Klimatisierung bei 80% r. H. und einer Temperatur von 23°C gemessen. Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  wird analog Formel (1) bestimmt, wobei die, dem Wärmestrom  $\dot{Q}$  äquivalente, elektrische Leistung der Messheizung  $P (=U \cdot I)$ ,  $d$  der Probendicke,  $A$  der Messfläche und  $\Delta T$  der Temperaturdifferenz über dem Probenquerschnitt entsprechen.

$$\lambda = \frac{\dot{Q} \cdot d}{A \cdot \Delta T} = \frac{U \cdot I \cdot d}{A \cdot \Delta T} \quad (1)$$

In den Ergebnissen sind die Mittelwerte der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  [mW/mK] und des Wärmedurchlasswiderstandes  $R$  [m<sup>2</sup>K/W] angegeben.

#### **1.8.1.14 Resistenz gegen Schimmel**

Die Überprüfung auf Schimmelresistenz erfolgte extern analog DIN 53931 (Prüfung von Textilien; Bestimmung der Widerstandsfähigkeit von Textilien gegen Schimmelpilze, Bewuchsversuch). Die im letzten Produktionsversuch erzeugten Dämmstoffe mit den höheren Konzentrationen an FM und NF (siehe Tabelle 2), sowie der borathältige Originaldämmstoff des Waldviertler Flachshaus wurden mit den Stämmen *Aspergillus Niger*, *Chaetomium globosum*, *Penicillium pinophilum*, und *Alternaria alternata* auf Schimmelresistenz überprüft.

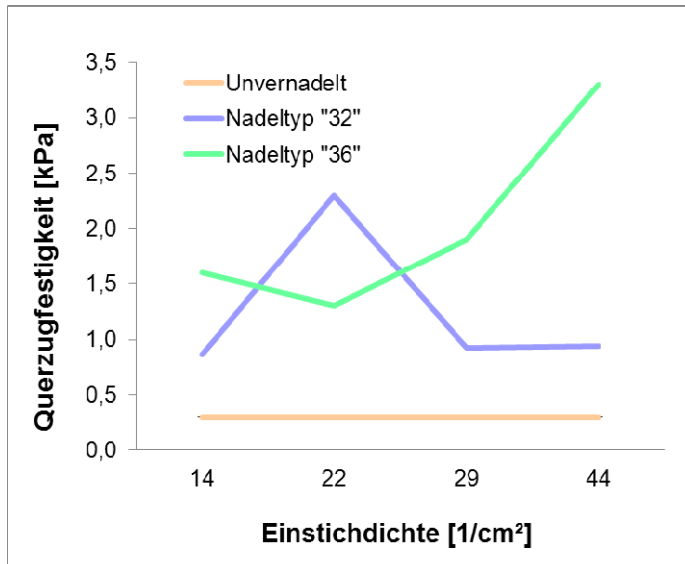
## 1.9 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung

Zu Projektbeginn wurde eine Literatur- und Produktrecherche durchgeführt um weitere, für die Evaluierung der Dämmplatten notwendige, Prüfmethode sowie umweltfreundliche Flammenschutz- und Vernetzungsmittel zu ermitteln. In Laborversuchen wurden in Summe über 150 Leime gekocht und mittels Brandtests an Papierproben und anschließend unter Verwendung von Dämmstoffproben selektiert. Für die Beurteilung der Stärkeleime mit den verschiedenen Flammenschutzmitteln wurde die durch die 20 Sekunden andauernde Flammeinwirkung entstandene Brandlochhöhe und die Klebekraft herangezogen. Parallel zu diesen Laborversuchen wurden an den Originaldämmstoffen Vernadelungsversuche unter Veränderung der Nadeltypen und Einstichdichten durchgeführt. Nach Beendigung dieser Versuche wurde die Vernadelungs- Anlage auf eine Arbeitsbreite von 50cm umgebaut. Die Labor- Krempelanlage des IFA- Tullns wurde mit Spritzautomaten und einer variabel einstellbaren Druckwalze ausgestattet um die Eignung der entwickelten Leime für die Dämmstoffproduktion zu evaluieren. Trotz zahlreicher Versuche und intensiver verfahrenstechnischer und maschinenbaulicher Adaptierungen der Laboranlage unterblieb eine ausreichende Vliesbildung. Des Weiteren zeigte sich, dass die Übertragbarkeit dieser Versuche auf den Produktionsmaßstab nicht gegeben ist. Aus diesen Gründen mussten die Tests der neu entwickelten Leime an der Produktionsanlage des Waldviertler Flachshauses durchgeführt werden. Zur Gewährleistung der Sicherheit der Produktionsanlage waren hinsichtlich der Verwendung nicht pH-neutraler Leime und möglicher unvorhersehbarer Reaktionen der Komponenten intensive Tests und Versuchsvorbereitungen unumgänglich. Die vorab durchgeführten Prüfungen umfassten Messungen der Scherviskositäten und pH-Werte der Leime, Stabilitätstests bei unterschiedlichen Lagerbedingungen sowie bei Verunreinigung mit bestimmten Fremdstoffen, Mischbarkeitstests zwischen unterschiedlichen Leimen und Korrosionstests an den Spritzautomaten.

Im ersten Produktionsversuch zur Substitution des Borat-Flammenschutzes wurden das Natriumwasserglas BT 39 getestet und im 2. Versuch verschiedene Wassergläser, die nach den geführten Beratungsgesprächen besser für den Brandschutz geeignet sind. Nach dem Test der verschiedenen Wassergläser wurden, mit der in Vortests ermittelten, brandbeständigsten Probe, Brandtests am TGM in Wien, durchgeführt. Im dritten Versuch wurden Stickstoff-Phosphorverbindungen in verschiedenen Konzentrationen zu den Stärkeleimen zugegeben und an der Anlage getestet. Die in Vortests ausgewählten Proben wurden zunächst vororientierend nach ÖNORM EN 11 925-2 geprüft und der Einfluss mangelhafter Dämmstoffoberflächen eruiert. Um die generelle Wirksamkeit des ausgewählten Flammenschutzmittels festzustellen, wurde die Oberfläche mit dem analogen Leim geglättet und eine vollständige Normprüfung durchgeführt. Nach Findung eines potentiellen Ersatzes für den Borat-Brandschutz wurden die entsprechenden Dämmstoffe mit der verbreiterten Anlage vernadelt, hydrophobiert und händisch verputzt. Die Wärmeleitfähigkeiten wurden an den Phosphor-Stickstoff- flammgeschützten Proben jeweils vernadelt und unvernadelt sowie an den Originaldämmstoffen des Waldviertler Flachshauses durchgeführt.

## 2 Ergebnisse des Projektes

### 2.1 Querzugfestigkeit

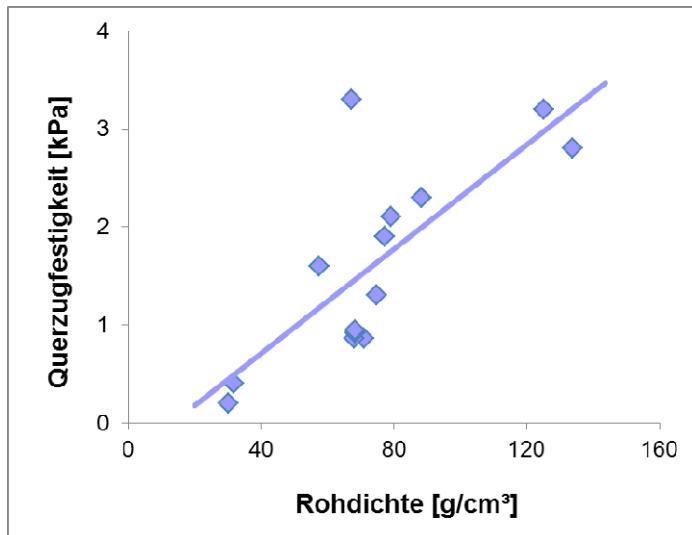


Die Querzugfestigkeiten wurden an der Vernadelungsanlage mit der ursprünglichen Arbeitsbreite von 30cm durch Veränderung der Nadeltypen und Einstichdichte bzw. Einzugsgeschwindigkeit optimiert. Die in der Produktion erzeugten Standard-Platten weisen Querzugfestigkeiten zwischen 0,2 und 0,4 kPa auf. Die Effekte verschiedener Nadelarten und Einstichdichten sind vergleichend mit den Original- Dämmstoffen in Abb. 5 dargestellt.

**Abbildung 5: Einfluss von Nadelart und Einstichdichte auf die Querzugfestigkeit der Originaldämmstoffe**

Die verwendeten Nadeln unterscheiden sich in Art und Anzahl der Kerben sowie in der Geometrie der Spitzen. Die höheren Querzugfestigkeiten wurden durch Verwendung der Nadeln für gröbere, ungleichmäßige Fasern (Typ „36“) erreicht. Mit diesen Nadeln wurde die Querzugfestigkeit der Standardplatte bei einer Einstichdichte von ca. 44/cm<sup>2</sup> von 0,2 kPa auf 3,3kPa erhöht. Die optimale Einstichdichte hängt von der Wahl der Nadelarten ab. Bei Verwendung der Nadeln des Typs „32“, die für feine Fasern hoher Qualität konzipiert sind, wurde die höchste Querzugfestigkeit bei einer Einstichdichte von 21,5/cm<sup>2</sup> erzielt, während bei Einsatz der Nadeln für gröbere Fasern die höchsten Festigkeiten durch die höchste Einstichdichte von 43,7 /cm<sup>2</sup> erreicht wurde. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die für gröbere Fasern geeigneten Nadeltypen die verwendeten Flachsfasern besser greifen und somit den Vernetzungsgrad über den Mattenquerschnitt erhöhen. Des Weiteren könnte die Verwendung der „32“- Nadeln auch zu einer mechanischen Schädigung der Naturfasern bei erhöhten Einstichdichten geführt haben. Die Applikation der Vernadelung führt zu einer deutlichen Verringerung der Querschnittsdicke bzw. zu einem Anstieg der Rohdichte. Der Zusammenhang zwischen Querzugfestigkeit und Rohdichte ist in Abb. 6 dargestellt.





**Abbildung 6: Hohe Korrelation der durch die Vernadelung erhöhte Querzugfestigkeiten und Rohdichten.**

## 2.2 Produktion von Dämmstoffen mit oxidierte Maisstärke

Durch die Variabilität von Naturstoffen müssen die Anlageneinstellungen an die jeweiligen Fasereigenschaften, die von Faserlieferung zu Faserlieferung abweichen, angepasst werden. Ob mit den Anlageneinstellungen eine Dämmplatte nach den gewünschten Anforderungen hergestellt werden kann, kann erst durch Begutachtung der resultierenden Dämmplatten, meist ca. 1 Stunde nach Anlagenstart, beurteilt werden. Erst dann kann aufgrund der auswertbaren Daten an einer Optimierung der Einstellungen gearbeitet werden. Beim Produktionsversuch mit Leim auf Maisstärkebasis, konnte trotz mehrerer Einstellungsänderungen an der Besprühungstechnik (Drücke, Tröpfchengröße, Sprühwinkel, Aufbringmenge,...) zur Regelung der aufgetragenen Leimmenge, keine ausreichende Bindewirkung der einzelnen Vlieslagen erreicht werden. Die in der Produktion standardmäßig eingesetzte Kartoffelstärke weist einfachere und homogenere Verarbeitbarkeit im Sprühverfahren auf.

## 2.3 Produzierbarkeit borsalzfreier Dämmstoffe und resultierender Brandschutz

### Dämmstoffe mit Natriumwasserglas BT39

Für den ersten Herstellungsversuch von Borat-freien Dämmstoffen wurde in Laborversuchen aufgrund der Klebekraft, der Brandverzögerung und der Lagerstabilität ein Leim aus BT 39 und Kartoffelstärke ausgewählt. Die 25%igen Leime (75% H<sub>2</sub>O) zeigten auch nach 3 Wochen annähernd gleichbleibende Viskosität, ohne Bildung von Flocken oder Bodensätzen, wodurch die Verarbeitbarkeit mit den Spritzautomaten der Produktionsanlage gewährleistet war. Die nach Optimierung der Einstellungen durchgeführten Versuche sind in Tabelle 4 beschrieben. Die Einstellungen der Legeversuche wurden aufgrund der resultierenden

Dämmstoffqualität und der begleitend durchgeführten Brandtests optimiert. Die angegebenen Anteile an Wasserglas bzw. Leim wurden anhand der Ergebnisse der nachträglich durchgeführten Silikatasche-Bestimmungen berechnet.

**Tabelle 4: Chargen des 1. Produktionsversuches mit BT 39 und resultierende, approximierte Leimanteile**

Vers.	Zusammensetzung Leim (%TS)	Besprühung (bar)		Austrag (ℓ/min)			Wasserglas (%TS)	Stärke (%TS)	Leim / Matte (%TS)
		VB MD	HB MD	VB	HB	Gesamt			
L1	20% Stärke + 80% BT39	3,2	3	0,9	2,94	3,93	10,05	2,51	12,56
L2	20% Stärke + 80% BT39	3,2	2	0,9	1,42	2,41	7,90	1,97	9,87
L3	20% Stärke + 80% BT39	3,2	2,5	0,9	1,94	2,93	8,49	2,12	10,61
L4	20% Stärke + 80% BT39	3,2	2,8	0,9	2,48	3,47	9,41	2,35	11,76
L5	20% Stärke + 80% BT39	3,2	3	0,9	2,83	3,82	9,21	2,30	11,51
L7	100% BT39	5	5	0,5	1,42	1,97	9,65	—	9,65

Die in der ersten Versuchscharge erzeugten Proben waren nach Durchlaufen des Trockners noch feucht, wodurch der Mattenzuschnitt scheiterte. Die Reduzierung des Materialdruckes auf 2 bar reduzierte den Leimaustrag der Hauptbesprühung auf 1,4 Liter, wodurch unzureichender Zusammenhalt der einzelnen Vliesschichten, sowie zu geringe Formsteifigkeiten der Dämmstoffe bewirkt wurden. Durch die nachfolgenden Steigerungen der Materialdrücke an der Hauptbesprühung wurde die Qualität der Dämmstoffe verbessert und das Brandrisiko in der mit direkter Beflammung beheizten Trockenanlage vermindert. Die Vorort durchgeführten Brandtests der Stärke- Wasserglas gebundenen Proben zeigten eine verlangsamte Brandausdehnung und bei Wegnahme der direkten Beflammung ein Erlöschen der Flammen. Allerdings blieben im Inneren der Matten Glutnester zurück, die zu einer verlangsamten aber vollkommenen Zerstörung der Matten führten. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde im Anschluss an die Stärke-Wasserglasleime das pure Wasserglas getestet, um die Brandbeständigkeit zu erhöhen. Der Materialaustrag des reinen Wasserglases war trotz maximal möglichen Materialdrücken von 5 bar zu gering. Zum einen wies das Wasserglas mit 80mPas eine wesentlich höhere Viskosität als der Stärke-Wasserglasleim (10mPas) auf und zum anderen verklebten die Sprühdüsen mit zunehmender Betriebsdauer. Die Bestimmungen des Silikatascheanteils zeigten, dass für die Erzielung eines Leimanteiles von 15 % im Dämmstoff wesentlich höhere Austragsmengen als die berechneten 2,5 l/min notwendig sind. Die hohen Leimverluste an der Produktionsanlage wurden insbesondere durch den ersten Legeversuch verdeutlicht, bei dem der Gesamt-Leimaustrag (25% Feststoffgehalt) von fast 4 l/min in den produzierten Dämmstoffen nur einen Leimanteil von 12,6% TS ergibt.

### **Dämmstoffe mit verschiedenen Wassergläsern**

Nach zahlreichen Beratungsgesprächen mit verschiedenen Hersteller-Firmen bezüglich Verbesserung des Brandschutzes und entsprechenden Labortests wurden in dem 2. Produktionsversuch 4 verschiedene, nicht kennzeichnungspflichtige Wassergläser getestet. In Tabelle 5 sind die, nach Optimierung der Materialdrücke, durchgeführten Versuche

beschrieben. Der erste Versuch mit der reinen Wasserglaslösung BT52 (63% H<sub>2</sub>O) resultierte mit den erst-gewählten Pumpeneinstellungen von 2,7bar (HB) in einer trockenen und festen Dämmstoffplatte. Die mit BT52 gebundenen Platten ließen sich relativ schwer in Brand setzen, allerdings glomm die Matte auch nach Wegnahme der Beflammung weiter.

**Tabelle 5: Verwendete Rezepturen, Anlageneinstellung und resultierende berechnete Leimanteile des 2. Produktionsversuches zur Substitution des Borsalzes**

Vers.- - Nr.	Zusammensetzung Leim (%TS)	Wasser- gehalt (%)	Scher- Viskos. (mPas) 1	HB MD (bar)	Austrag (ℓ /min)		Wasser- glas (%TS) <sup>2</sup>	Stärke (%TS)	Leim (%TS)
					VB	HB			
1-1	100% BT52	63	32	2,7	0,5	0,78	9,51		9,51
2-3	100% HK35	69	34	5	0,56	2,86	14,43	—	14,43
3-2	100% BT39	66	35	3,7	0,48	1,74	11,44	—	11,44
4-2	100% BK50	56	41	3,5	0,38	1,6	17,66	—	17,66
5-1	BK50 + 20% Stärke	66	32	3,5	0,54	1,64	11,17	2,79	13,97
6-1	HK 35 + 20% Stärke	74	20	3,5	0,68	2,96	10,93	2,73	13,66
1-3	100%BT52	63	32	5	0,54	2,54	19,50	—	19,50

<sup>1</sup> Die Scherviskosität wurde am IFA- Tulln bei einer Scherrate von 1000/s gemessen.

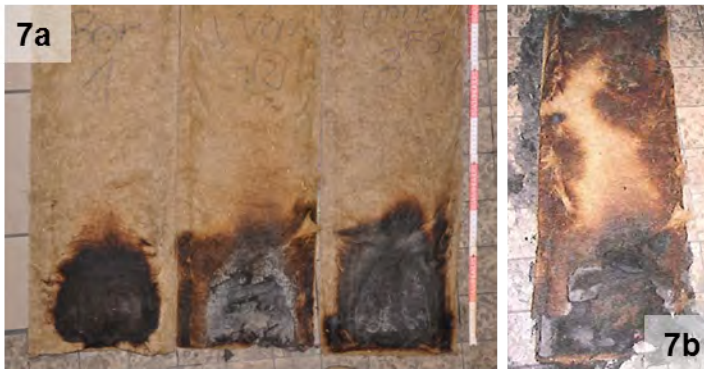
<sup>2</sup> Die Wasserglasanteile in den Matten wurden durch die Silikatasche-Bestimmungen ermittelt und für die Berechnungen der Stärke- und Leimanteile analog den Rezepturzusammensetzungen verwendet.

HB.... Hauptbesprühung

MD.... Materialdruck

TS.... Trockensubstanz

Die Verarbeitung des Hochkieselsäure- Wasserglases HK 35 erforderte aufgrund des niedrigsten Feststoffgehaltes die Erhöhung des Materialdruckes auf 5 bar, um einen ausreichend festen Dämmstoff zu erhalten. Im Vergleich zu den BT52 gebundenen Matten zeigten alle andern Proben leichtere Entflammbarkeit. Unabhängig von der Bindemittelrezeptur bildeten sich bei den Brandtests im Inneren der Fasermatten Glutnester, die zur langsamen aber kompletten Zerstörung der Dämmstoffe führten. Aufgrund des unzureichenden Brandschutz wurde ein zusätzlicher Versuch mit dem reinen Wasserglas BT52 unter Verwendung des maximal möglichen Materialdruckes durchgeführt (1-3), da mit diesem Wasserglas sowohl hinsichtlich Plattenausformung als auch bezüglich Brandbeständigkeit die besten Ergebnisse erreicht wurden. Dadurch konnte der Anteil an BT52 auf fast 20% TS, bezogen auf den Dämmstoff erhöht werden. Trotz des hohen Wasserglasanteiles zeigten auch diese Dämmstoffe keine selbstverlöschenden Eigenschaften, obwohl die Entflammung und nachfolgende Zerstörung der Matten durch Verglühung länger dauerte. Um das Brandverhalten genauer zu charakterisieren, wurden am TGM (Wien) Brandtests an rein Stärke- gebundenen Dämmstoffen, den mit ca. 19% BT52 verklebten Matten sowie an dem Standard-Originaldämmstoff des Waldviertler Flachshauses durchgeführt. Abbildung 6 a zeigt die in einem Einzelversuch nach ÖNORM A 3800-1 getesteten Proben, etwa 20 min. nach der letzten Beflammung. Die Wasserglas- gebundene Dämmstoffplatte ist ca. drei Stunden nach der Beflammung in Abbildung 7 b dargestellt.



**Abbildung 7:a) Borsalz- versetzte (links), Wasserglas- gebundene (Mitte) und Stärke- gebundene Dämmstoffe (rechts) 20min nach der Beflammung.**

Sowohl der mit Wasserglas als auch der mit Stärke gebundene Dämmstoff wies ein oberflächlich nicht sichtbares Nachglühen auf, das zur vollkommenen Zerstörung der Proben führte, wodurch diese Proben den Brandtest nicht bestanden. Der mit Borsalz versetzte Originaldämmstoff wurde gemäß ÖNORM A 3800-1 in Brennbarkeitsklasse schwerbrennbar eingestuft.

### **Dämmstoffe mit Phosphor- basierten Flammschutzmittel**

Aufgrund der Ergebnisse der Brandtests wurden im 3. Produktionsversuch Leime mit unterschiedlichen Konzentrationen dreier Phosphor-basierter Flammschutzmittel getestet. Die Pumpeneinstellungen wurden in der ersten Versuchscharge optimiert und in den folgenden Versuchen (ausgenommen 9D) konstant gehalten, um die durch die Leimrezeptur variierten Flammschutzmittel-Konzentrationen unmittelbar vergleichen zu können. Die gewählten Einstellungen der Haupt- und Vorbesprühung (Tabelle 6) resultierten bei dem ersten Versuch 8A in einer ausreichenden Qualität der Matten.

**Tabelle 6: Verwendete Rezepturen mit Phosphor- basierten Flammschutzmittel und Anlageneinstellungen des 3. Produktionsversuches zur Substitution des Borsalzes**

Versuch	%TS Flammschutz <sup>1</sup>	Wassergehalt Leim (%) <sup>2</sup>	Besprühung (bar)		Austrag (l/min)			Scherviskos. (mPas) <sup>3</sup>
			VB MD	HB MD	VB	HB	Gesamt	
8A	8% NF	73,4	2,2	3,2	0,53	1,66	2,19	51,70
8B	4% NF	75,9	2,2	3,2	0,62	1,6	2,22	51,00
8C	6% NF	74,6	2,2	3,2	0,63	1,57	2,20	41,40
9A	8% FM	73,7	2,2	3,2	0,7	1,72	2,42	33,50
9B	4% FM	76	2,2	3,2	0,67	1,6	2,27	42,50
9C	3% FM	76,4	2,2	3,2	0,61	1,5	2,11	44,40
9D <sup>4</sup>	2% FM	77,1	3	4,5	0,46	1,34	1,80	fest
10A	2,7% PF	77	2,2	3,2	0,45	1,39	1,84	72,20

<sup>1</sup> Die Konzentration ist in % Trockensubstanz relativ zur Leim- Nassbasis angegeben

<sup>2</sup> Der Wassergehalt ist durch die Flammschutzmittelkonzentration bestimmt.

<sup>3</sup> Die Scherviskosität wurde aus organisatorischen Gründen erst in der Woche nach dem Produktionsversuch bei einer Scherrate von 1000/ sec gemessen.

<sup>4</sup> Für den Versuch 9D musste eine neue Stärkelösung zubereitet werden.

Auch die Verarbeitung der folgenden Rezepturen verlief annähernd problemlos, allerdings fiel die Krempelanlage zweimal aus. Durch den längeren Stillstand der Anlage während der Zubereitung einer neuen Stärkelösung für den Versuch 9D musste der Materialdruck der Hauptbesprühung auf 4,5 bar erhöht werden, da die Düsenöffnungen verklebt waren. Des Weiteren konnte an diesem Leim in der darauffolgenden Woche aufgrund der erfolgten Aushärtung keine Viskositätsmessung durchgeführt werden. Dies wurde auf eine höhere Leimviskosität bei der Herstellung kleinerer Mengen, aufgrund geringerer Einwaage-Präzision und veränderter Scherkräfte während der Rührung, zurückgeführt. Die parallel zur Produktion durchgeführten Brandtests zeigten, dass das Flammenschutzmittel NF bereits bei einer Konzentration von 4% wenig Brandschutz bietet, wodurch die Konzentration im darauffolgenden Versuch aus Sicherheitsgründen wieder erhöht wurde. Den besten Brandschutz wies das Produkt FM auf. Um diese Ergebnisse zu verifizieren wurden am TGM an den Proben mit den jeweils 2 höheren Konzentrationen der Phosphor-Stickstoffverbindungen FM (9A, 9B sowie 9A vernadelt) und NF (8A, 8B) vororientierende Prüfungen der Normalbrennbarkeit durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Tests sind in Abbildung 8 veranschaulicht.



**Abbildung 8:Original (li), 8A, 8C, 9A, 9A, 9A vernadelt, 9B (re) nach den vororientierenden Brandtests.**

Mit Ausnahme des Originaldämmstoffes brannten an allen Proben von der Oberfläche wegstehende Fasern über die gesamte Prüflänge ab, wodurch keine Einstufung in die Klasse Normalbrennbarkeit erfolgen konnte. Die enzymatischen Stärkebestimmungen ergaben für die Proben 9A (8% FM) und 9B (4% FM) Gesamt-Leimanteile von nur 9,4 und 8,2% TS. Der Flammschutzmittelanteil in Trockensubstanz wurde für die Probe 9A (8% FM) mit 2,9% und für die Probe 9B (4% FM) mit 1,4 %TS berechnet. Trotz des geringen Flammenschutzmittel-Anteils ist die flammhemmende Wirkung dieser Produkte aufgrund der Selbstverlöschung gegeben. Die in diesen Versuchen erzielten geringen Leimanteile unter 10% wirkten sich auch auf die Festigkeit und Formstetigkeit der Proben aus. Die Querkzugfestigkeit der mit 8%- FM – Stärke gebundenen Platte wies einen Wert von nur 0,17kPa auf.

Um die grundsätzliche Eignung des Flammenschutzmittels FM für die Einstufung der Dämmstoffe in die Normalbrennbarkeitsklasse zu prüfen, wurden die Oberflächen der Proben 9A (8% FM) mit dem analogen Leim geglättet und die Brandprüfungen wiederholt (Abbildung 9).



**Abbildung 9: Geglättete Proben mit 4,35% FM nach dem Norm- Brandtest**

Durch die nachträgliche Behandlung mit dem 8% FM-Stärkeleim erhöhte sich der Gesamt-Leimanteil auf 13,6%, der Flammenschutzmittelanteil auf 4,35%. Aufgrund der geglätteten Oberfläche und des erhöhten Flammenschutzmittelanteils wurden diese Proben nach EN ISO 11925-2 in die Brennbarkeitsklasse „Normalbrennbar“ eingestuft.

Durch den 3. Produktionsversuch wurde mit der Phosphor- Stickstoffverbindung FM eine ökologisch unbedenkliche und effektive Alternative zu Borsalz gefunden. Voraussetzung für die Brandschutzwirksamkeit ist eine ausreichende Konzentration sowie eine glatte und feste Oberfläche der Dämmstoffe.

## 2.4 Ergebnisse der Versuche zur Systemherstellung

Für die Herstellung einer verputzten Dämmstoffplatte wurden die in den industriellen Versuchsserien mit dem neuen Flammenschutzmittel hergestellten Dämmstoffe zweiseitig vernadelt. Dafür wurde die verbreiterte Vernadelungsanlage und eine neue Nadelvariante (Nadeltyp: „19“), die für sehr grobe und harte Fasern eingesetzt werden, verwendet. Die Querkzugfestigkeiten wurden unter Verwendung einer Einstichdichte von 6 / cm<sup>2</sup> von einem Ausgangswert um 0,17 kPa auf eine resultierende Festigkeit von 6,7 kPa erhöht. Die Wärmeleitfähigkeiten und Wärmedurchgangswiderstände der vernadelten und unvernadelten Dämmstoffe sind vergleichend mit den Werten des Originaldämmstoffes in Tabelle 7 angeführt.

**Tabelle 7: Vergleich der Wärmeleitfähigkeit und des Wärmedurchlasswiderstandes verschiedener Proben**

Probe	Flammsch.	Prüf.-art	Dicke	Dichte	Dichte	Feuchte	Wärmeleitfk. $\lambda$	Durchlasswidst. R
			trock.	trock.	feucht			
			[mm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[mW/mK]	[m <sup>2</sup> K/W]
9A-vern.	FM	trock.	19,00	115,11			35,45	0,47
9A-vern.	FM	nass	19,00	115,68	134,10	11,70	36,70	0,48
9A	FM	trock	60,00	36,92			33,12	1,37
9A	FS2	nass	60,00	39,19	41,88	15,74	34,48	1,23
Original	Borsalz	trock	45,00	45,48			32,28	1,21
Original	Borsalz	nass	45,00	46,42	48,83	16,91	34,07	1,10

Durch die Vernadelung der Dämmstoffe wird die Wärmeleitfähigkeit des Materials sowohl im trockenen als auch im feuchten Zustand nur geringfügig erhöht. Allerdings bewirkt die starke Reduzierung der Bauteildicke um ca. 67% eine deutliche Erniedrigung des Wärmedurchgangswiderstandes. Für die Erhaltung der Dämmwirkung wird daher in etwa die dreifache Menge Material benötigt. Der höhere Wassergehalt der feucht konditionierten Proben fördert die Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe nur gering.

Aufgrund der durch die Vernadelung bedingten Reduzierung der Mattendicke, mussten für die Versuche mit den Putzen 2 dieser Proben verwendet werden. Die vernadelten Flachsfaserplatten zeigten mit beiden Putzsystemen eine ausgezeichnete Haftung (Abbildung 10 a, b) und ausreichendes Tragvermögen.



**Abbildung 10: a) Vernadelte, mit Außenputz beschichtete Flachsfaser-Dämmplatte. b) Vernadelte, mit Grünband-Putz beschichtete Flachsfaser-Dämmplatte**

## 2.5 Ökonomische Bewertung

In diesem Forschungsprojekt wurde ein ausreichend wirkungsvolles Substitut zum bisher eingesetzten borhaltigen Flammschutzmittel gefunden. Die Verwendung dieses Produkts führt zu einer Preis-Verdoppelung der, in der Produktion eingesetzten, Leimflotte. In technischer Hinsicht erwies sich auch die Vernadelung der Dämmstoffe die zu einer Vervierzigfachung der Querkraftfestigkeit führte, wodurch die Tragfähigkeit von Putzschichten erzielt wurde. In wirtschaftlicher Hinsicht führt die Applikation der Vernadelung zu einer Verdreifachung des Bedarfs an Flachsfasern. Die Herstellung einer verputzbaren Fassadendämmplatte (WDVS) aus hochpreisiger, feiner Flachsfaser ist daher ökonomisch nicht vertretbar. Die Recherchen des Waldviertler Flachshauses ergaben hingegen, dass sich hierfür günstigere gröbere Fasern, wie teilentholtzte Flachsfasern besser eignen könnten. Diese gröberen Fasern können jedoch nicht mit der Textilanlage des Waldviertler Flachshauses verarbeitet werden, insofern müsste die Anlage um eine neue Technik erweitert werden. Ein weiterer Faktor der die Materialkosten zur Herstellung einer verputzbaren Dämmplatte aus Naturfasern ist die notwendige Hydrophopierung der Dämmstoffe. Aufgrund der für die industrielle Umsetzung notwendigen Umbauarbeiten der Produktionsanlage und der im Zuge der Projektarbeiten festgestellten, hohen Leimabdrifte an der Produktionsanlage ist derzeit eine ökonomische Produktion der entwickelten, ökologischen Aussendämmplatten nicht möglich.

## **3 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms**

### **3.1 Einpassung in das Programm**

Ein Wärmedämmverbundsystem im Außenbereich an der Hausfassade nahezu vollständig aus nachwachsenden bzw. ökologisch unbedenklichen Mineralstoffen, zu dem das Projekt die Vorarbeiten leistet, erfüllt gleich mehrere Programmziele: Die Forderung der CO<sub>2</sub>-Neutralität, sowie der Nachhaltigkeit sind durch die Materialauswahl gegeben. Das Prinzip der Nachhaltigkeit wird erstmalig sowohl bei der Wahl des Dämmrohstoffes, der aus Flachs- und Hanffasern besteht, als auch bei dem Einsatz notwendiger Additive angewendet. Die Fasern sind zum Teil sogar Kuppelprodukte der Textilproduktion und verbessern damit noch weiter die Ökobilanz. Auch der Produktionsprozess braucht wenig Energie, was die CO<sub>2</sub>-Bilanz nicht zusätzlich erhöht. Ein solches System rein aus nachwachsenden bzw. ökovertäglichen Materialien ist nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht marktverfügbar und stellt damit eine Innovation in diesem Bereich dar. Mit der Grundlagenermittlung zur Herstellung einer für Außendämmungen geeigneten, verputzfähigen Naturfaserdämmplatte, die aus über 95% an nachwachsenden Rohstoffen besteht, wurde die technologische Basis für das Gebäude der Zukunft erweitert.

### **3.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms**

Anhand der ersten Grundlagen zur Entwicklung einer verputzfähigen Dämmplatte ist aufgrund der Bindung des CO<sub>2</sub> in der Naturfaser und dem überwiegend auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Bindemittel eine Verbesserung der Ökobilanz möglich. In vorliegendem Projekt wurden Möglichkeiten zur Herstellung toxikologisch- und ökotoxikologisch unbedenklicher verputzbarer Naturfaserdämmstoffe untersucht und aufgezeigt. Der in Anwendungstests noch zu überprüfende Wegfall von Putzträgerplatten ermöglicht grundsätzlich bei gleicher Außenwandstärke einen höheren Dämmstoffanteil und somit Energieeinsparungspotential.

- 1.- Prinzip der Nachhaltigkeit
- 2.- Prinzip der CO<sub>2</sub>- Neutralität
- 3.- Prinzip der Integration neuer Produktentwicklungen
- 4.- Prinzip der Kompostierbarkeit
- 5.- Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität



### **3.3 Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt**

Durch zunehmende Nachfrage seitens der Wirtschaft, Fassaden mit Fasern des Flachses zu dämmen, wurde die Idee einer verputzfähigen Flachs-Dämmplatte initiiert. Das Konzept dieser Fassadendämmplatte ist an den bei dem Waldviertler Flachshaus geäußerten Kundenwünschen nach umweltgerechten und schadstofffreien Dämmstoffen orientiert. Ökotoxikologische und toxikologische Substanzen finden nach wie vor auch in Dämmstoffen aus natürlichen Rohstoffen breite Anwendung. Neben synthetischen Bindemitteln auf Basis von Polyvinylacetaten, Polyestern und Polyurethanen werden üblicherweise auch Borsalze eingesetzt. Bekannt ist seit langem, dass Borsalze bzw. die in wässriger Lösung aus ihnen entstehenden Borat-Ionen in menschlichen, tierischen und pflanzlichen Organismus an vielfältigen Positionen angreifen können. Sie können Membranpotentiale ändern, Enzyme beeinflussen und so vielfach im Stoffwechsel eingreifen. Eine Substitution dieser Additive trägt zur Verminderung von Gesundheitsgefährdungen bei. Ein weiterer Vorteil für Kunden ist die problemlose Entsorgung des Produktes. 12,6 % des österreichischen Abfalls ist auf dem Bau zurückzuführen, mit steigender Errichtung von Wohnräumen bzw. bei Sanierung der Gebäude nimmt der Einsatz von Dämmstoffen zu.

### **3.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse**

In dem vorliegenden Projekt wurden die Grundlagen für die Herstellung einer verputzbaren Naturfaser-Dämmstoffplatte erarbeitet. Ausreichende Querkzugfestigkeit wurde durch Anwendung der Vernadelungstechnologie anhand einer Vervierzigfachung der ursprünglichen Festigkeitswerte erzielt. Nachteilig ist die dadurch verminderte Querschnittsdicke die zu einer Reduzierung des Wärmedurchgangwiderstandes um ca. 60% führt. Dadurch wird die dreifache Menge an hochpreisigen Flachsfasern für den Erhalt der gleichen Dämmwirkung benötigt. Somit erhöhen sich auch die Rohstoffkosten diesbezüglich mindestens auf das Dreifache. In diesem Zusammenhang muss anhand von mehrjährigen Praxistests geklärt werden, ob auch niedrigere Festigkeiten für die Tragfähigkeit der Putzschichten ausreichend sind. In diesem Fall wäre auch die Reduzierung des Dämmstoffquerschnittes und somit der Materialverbrauch geringer. Weitere Erhöhungen des Produktpreises ergeben sich durch die für die Implementierung einer Vernadelungsanlage notwendigen, hohen Investitionskosten. Der Ersatz der toxikologisch bedenklichen Borate durch die Stickstoff-Phosphorverbindung führt zu einer Verdoppelung der ursprünglichen Leim- Rohstoffkosten. Da aber in diesem Projekt sehr hohe Leimverluste an der Anlage eruiert wurden, besteht erhebliches Einsparungspotential durch Optimierung bezüglich Leim-Abdrift. Die Produktion der Außenfassadenplatten ist derzeit seitens des Waldviertler Flachshauses aus ökonomischen Gründen nicht möglich. Die Projektergebnisse tragen aber zu einer wesentlichen, ökologischen Verbesserung der bestehenden Dämmstoff-Produkte

bei. An der Umsetzung der verputzfähigen Naturfaserplatte kann in Hinblick auf den Preis bzw. die dadurch eingeschränkte Wettbewerbsfähigkeit frühestens nach Optimierung der Anlage hinsichtlich Materialverluste begonnen werden.

## 4 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die Herstellung einer ökologisch hochwertigen verputzbaren Dämmstoffplatte aus über 95% nachwachsenden Rohstoffen mit ausreichender Querkzugfestigkeit, die die Verwendung als verputzbare Dämmstoffplatte erlaubt, ist grundsätzlich möglich.

Die reibungslose Verarbeitung von Naturfasern mit verschiedenen Vlieslegetechnologien bzw. Anlagen ist aufgrund der hohen Variabilität in den Fasereigenschaften, die zusätzlich von Faserlieferung zu Faserlieferung extrem unterschiedlich sind, nicht gegeben. Ein zu hoher Röstgrad bzw. Feinheitsgrad der Fasern ist insbesondere auf Krempelanlagen mit Gleitlagern zu vermeiden, da sehr feine Fasern schon nach kurzer Betriebszeit die Lager blockieren. Unabhängig von den getesteten Krempelbauarten (Labor- und Produktionsanlage) unterbleibt bei Verwendung von zu stark gerösteten Naturfasern durch die geringen Faserfestigkeiten bzw. die zahlreichen Faserbrüchen eine ausreichende Vliesbildung.

Die Anwendung der mechanischen Verfestigung durch Vernadelung der Dämmstoffe ist eine sehr effektive und einfache Methode um die Querkzugfestigkeit massiv zu verbessern. Aufgrund der durch die Vernadelung bewirkte Quervernetzung der Naturfasern kann die Querkzugfestigkeit ohne Erhöhung des Bindemittelanteils von ursprünglichen Festigkeiten um 0,17kPa auf Werte über 6,7 kPa gesteigert und somit vervierzigfacht werden.

Die durch die Vernadelung bewirkte Zunahme der Querkzugfestigkeiten korreliert stark mit einer Zunahme der Rohdichten (Abbildung 9). Durch die erhöhte Rohdichte der Dämmstoffe wird die Wärmeleitfähigkeit bei Steigerungen um 2mW/mK praktisch nicht erhöht. Nachteilig für die geplante Anwendung ist allerdings die durch die Vernadelung bedingte Reduzierung der Dämmstoffdicke bzw. des Wärmedurchgangswiderstandes. Für die Erhaltung des ursprünglichen Dämmwertes wird beispielsweise für die in der Systemherstellung verwendeten Proben mit einer Querkzugfestigkeit von 6,7kPa und einer Rohdichte von 122,5kg/m<sup>3</sup> aufgrund der Reduzierung der Probendicke um ca. 60% die dreifache Materialmenge benötigt. Inwieweit die Querkzugfestigkeit tatsächlich erhöht werden muss, sollte im Zuge einer Endentwicklung eruiert werden.

## 5 Ausblick und Empfehlungen

In dem vorliegenden Projekt konnten trotz zahlreicher technischer Herausforderungen ökologisch und technisch hochwertige, verputzbare Flachsfaser-Dämmstoffe entwickelt werden. Für die Umsetzung dieser Ergebnisse an der Produktionsanlage ist aus wirtschaftlichen Gründen eine Optimierung der Produktionsanlage hinsichtlich Materialverluste zwingend erforderlich. Praxistests zur Ermittlung der tatsächlich in dieser Anwendung geforderten Querkzugfestigkeit sollten durchgeführt werden um die Eignung der verputzten Fassadendämmplatte für diese Anwendung zu evaluieren. Eine im Zuge dieser Praxistests durchgeführte Ermittlung der in dieser Anwendung minimal notwendigen Querkzugfestigkeit würde die Wirtschaftlichkeit des Produktes durch geringeren Materialbedarf erhöhen. Auch die Optimierung der Produktionsanlage zur Reduzierung der Leimverluste würde die Wettbewerbsfähigkeit der entwickelten Außen-Dämmplatte steigern.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eigenschaften der getesteten Wassergläser .....	16
Tabelle 2: Eigenschaften der getesteten phosphorbasierten Flammschutzmittel .....	16
Tabelle 3: Getestete Rezepturen des 3. Produktionsversuches .....	17
Tabelle 4: Chargen des 1. Produktionsversuches mit BT 39 und resultierende, approximierte Leimanteile .....	24
Tabelle 5: Verwendete Rezepturen, Anlageneinstellung und resultierende berechnete Leimanteile des 2. Produktionsversuches zur Substitution des Borsalzes .....	25
Tabelle 6: Verwendete Rezepturen mit Phosphor- basierten Flammschutzmittel und Anlageneinstellungen des 3. Produktionsversuches zur Substitution des Borsalzes .....	26
Tabelle 7: Vergleich der Wärmeleitfähigkeit und des Wärmedurchlasswiderstandes verschiedener Proben .....	28

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Versuchs-Krempelanlage in Tulln .....	15
Abbildung 2: Krempelanlage des Waldviertler Flachshauses .....	15
Abbildung 3: Düse A (blau); Düse B (orange) .....	17
Abbildung 4: Borsalz-freie (a) und Borsalz-hältige Dämmstoffe (b) nach Beflammung .....	19
Abbildung 5: Einfluss von Nadelart und Einstichdichte auf die Querkzugfestigkeit der Originaldämmstoffe .....	22
Abbildung 6: Hohe Korrelation der durch die Vernadelung erhöhte Querkzugfestigkeiten und Rohdichten. ....	23
Abbildung 7: a) Borsalz- versetzte (links), Wasserglas- gebundene (Mitte) und Stärke- gebundene Dämmstoffe (rechts) 20min nach der Beflammung. ....	26
Abbildung 8: Original (li), 8A, 8C, 9A, 9A, 9A vernadelt, 9B (re) nach den vororientierenden Brandtests. ....	27
Abbildung 9: Geglättete Proben mit 4,35% FM nach dem Norm- Brandtest .....	28
Abbildung 10: a) Vernadelte, mit Außenputz beschichtete Flachsfaser-Dämmplatte. b) Vernadelte, mit Grünband-Putz beschichtete Flachsfaser-Dämmplatte .....	29