

Flachshaus GmbH
Werk für Vliesstoffe

**Entwicklung einer Flachsdämmplatte auf Basis einer
ganzheitlichen Pflanzenverwertung**

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter Az: 18065 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.Ing.agr.sc. Jens Bretthauer

Dezember 2004

Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	18065	Referat	21/0	Fördersumme	110.500,00
Antragstitel		Entwicklung einer Flachsdämmplatte auf Basis einer ganzheitlichen Pflanzenverwertung			
Stichworte		Ökobau; Dämmung; Bauteileentwicklung			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
24 Monate		01.07.02		30.06.04	
				Projektphase(n)	
				keine	
Zwischenberichte:		alle 6 Monate Kurzbericht			
Bewilligungsempfänger		Flachshaus GmbH		Tel 03395/700796	
		Werk für Vliesstoffe		Fax 03395/301925	
		Pritzwalker Str. 1		Projektleitung	
		16928 Giesensdorf		Herr Bretthauer	
				Bearbeiter	
Kooperationspartner					

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer anwendungs- und fertigungstechnisch ausgereiften marktfähigen Dämmplatte vorzugsweise aus Flachsfasern und Flachsscheben als auch aus anderen Faser-Schebengemischen u.a. Holzfasern.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

AP 1 Auswahl der Komponenten

- AP 1.1 Anforderungsprofil Fasern
- AP 1.2 Anforderungsprofil Klebstoffe, Brandschutzmittel
- AP 1.3 Prüfstand Laboruntersuchungen
- AP 2 Herstellung und Beurteilung von Labormustern

AP 2.1 Herstellung

- AP 2.2 Beurteilung (Vliesstruktur, Plattenstruktur, Stabilität)
- AP 2.3 Beurteilung (Wärmeleitfähigkeit, Schallschutz, Anwendungseigenschaften)

AP 3 Nachweis der geforderten Eigenschaften

- AP 3.1 Erprobung/Optimierung der Dämmplatte (Einbau, sommerlicher Wärmeschutz, Schalldämmmaß Brandschutz)

AP 4 Herstellung und Erprobung von Mustern im Technikumsmaßstab

- AP 4.1 Entwicklung der Bindemittelapplikation
- AP 4.2 Integration in den Herstellungsprozeß
- AP 4.3 Fertigung einer Nullserie (Beurteilung, Optimierung)

Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen des Projektes wurden die vorgesehenen Arbeitspakete wie geplant abgearbeitet. Zunächst wurden im Arbeitsschritt 1 die für die Flachsdämmplatte vorgesehenen Komponenten hinsichtlich ihrer Eigenschaften untersucht. Es wurden zunächst bei Variation von Rohgewicht und Faserfeinheiten die Fasereigenschaften definiert. Die Ergebnisse deckten sich mit den aus einschlägigen Untersuchungen bekannten Werten. Im Anschluss wurden die bei der Aufbereitung von Flachsstroh anfallenden Scheben hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit untersucht. Im Ergebnis wurde eine breite Streuung der Messwerte festgestellt. Diese Ergebnisse waren allein schon auf Grund der unterschiedlichen Grobstruktur der Scheben zu erwarten. Offensichtlich sind hier verschiedene Einflußfaktoren u.a. Röstgrad des Strohes, Feuchtigkeitsgehalt bei der Verarbeitung, Faserfeinsorte und Anbausituation für die Wärmeleitfähigkeit der Scheben verantwortlich. Diese Faktoren entziehen sich weitgehend der Einflussnahme durch das aufbereitende Unternehmen, sodaß um reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen, eine Homogenisierung der Scheben vor der Einbringung in die Dämmstoffplatte notwendig ist. Versuche mit der Vermahlung der Scheben eine Homogenisierung zu erreichen, verliefen erfolgreich. Es ist gelungen, die Streuung soweit zu verringern, dass Scheben im Rahmen des vorgesehenen Raumgewichtes der Platte von 60 kg/m³ eingebracht werden konnten und die Wärmeleitfähigkeit der Platte im Zielbereich 0,038 W/mK lag. Weitere Untersuchungen wurden hinsichtlich der Binde- und Brandschutzmittel durchgeführt. Die Dosierung des Brandschutzmittels zur Erreichung der Brandschutzklasse B2 entsprach den Vorgaben von < 10 % je m³ Dämmstoff. Alternativ wurde ein borsalzfreies Brandschutzmittel auf der Basis von Ammoniumphosphat erprobt. Die Brandschutzanforderungen konnten mit einer Dosierung von 8 % erreicht werden. Die Laborergebnisse mit dem vorgesehenen Kleber Kartoffelstärke entsprachen zunächst nicht den Erwartungen. Es zeigte sich, dass durch das im Vergleich zur bestehenden Flachsdämmplatte nahezu verdoppelte Raumgewicht, die Elastizität der Platte deutlich abnimmt, so daß die Produkteigenschaft Klemmbarkeit zunächst nicht erreicht werden konnte. Auch bei Variation der Kleber sowie der Dosierung konnten keine Verbesserungen erzielt werden. Schließlich wurde durch den Zusatz eines Additives (Zirkoncarbonat) eine ausreichende Elastizität erreicht.

Im Rahmen der Abarbeitung des Arbeitspaketes 2 wurden auf der Basis von Labormustern die Produkteigenschaften Wärmeleitfähigkeit, Brandverhalten und Anwendungseigenschaften erprobt. Folgende Ergebnisse wurden erzielt: WLG 040, Brandklasse B2, Druckbelastbarkeit WD. Hinsichtlich der Vlies- und Plattenstruktur erreichten die Labormuster Stabilitätseigenschaften, die ebenfalls der Zielstellung entsprachen.

Im Ap 3 wurden die Labormuster einer praktischen Erprobung unterzogen. Es wurden unter baupraktischen Bedingungen Handhabungs- und Schneidversuche unternommen. Sowohl von Hand als auch mit elektrischen Messern ließen sich die Prüfkörper einwandfrei schneiden. Der Einbau der Platten auch über Kopf war problemlos möglich. Anhand einer bauphysikalischen Berechnung wurde anschließend der Wert für den sommerlichen Wärmeschutz ermittelt. Der Wert lag hinsichtlich Phasenverschiebung und Amplitudendämpfung auf dem Niveau der vergleichbarer Holzfaserdämmstoffe.

Abschließend wurden Muster im Prüfstand einer Brandschutzprüfung unterzogen. Die Brandklasse B2 wurde von allen Prüfkörpern erreicht.

Auf der Basis der in den Arbeitspaketen 1-3 gewonnenen Erkenntnisse wurde im Ap 4 die Umsetzung in den Herstellungsprozess erprobt. Hierzu wurden auf der Basis der vorhandenen Produktionsanlage zunächst aufbereitete Scheben von Hand in das Flor eingegeben. Die Verteilung der Scheben in Längs- und Querrichtung war unbefriedigend. Anschließend wurde eine teilmechanisierte Vorrichtung zur Schebeneinbringung erprobt. Der Versuchsaufbau aufgrund seiner Verstopfungsneigung sehr störanfällig. Auch verschiedene Modifikationen der Einstreuvorrichtung hinsichtlich Drehzahl, Drehmoment und Bestückung mit Messern und Verteileinrichtungen brachten nicht den gewünschten Erfolg. Aufgrund dieser technischen Schwierigkeiten konnte keine Nullserie gefahren werden. Die Realisierung einer störfesten Zumischanlage konnte aus Kostengründen im Rahmen dieses Projektes nicht realisiert werden.

Auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde jedoch eine Zumischanlage konzipiert und im Labormaßstab erprobt, mit der eine reibungsloser Zumischung sowohl von Scheben als auch von Scheben-Fasergemischen zu erwarten ist.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Fazit

Es konnte gezeigt werden, dass die im Rahmen dieses Projektes entwickelte Faser-Schebenplatte die Anforderungen gem. der Projektzielstellung erfüllt. Bei der Umsetzung in den Produktionsprozess traten unerwartete Schwierigkeiten auf, die die vorgesehene Fertigung einer Nullserie nicht ermöglichten. Im Rahmen des Projektes wurde anschließend ein Fertigungsverfahren konzipiert und im Labormaßstab erprobt mit dem die großtechnische Fertigung der Faser-Schebenplatte realisiert werden kann.

Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis	S. 5
2. Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen	S. 6
3. Zusammenfassung	S. 7
4. Einleitung	S. 8
5. Hauptteil	S. 9
6. Fazit	S. 35
7. Literaturverzeichnis	S. 36
8. Anhänge	S. 37

2. Verzeichnis von Bildern, Grafiken und Tabellen

Abb. 1	Flachspflanze im Blütestand	S. 9
Abb. 2	Wärmeleitfähigkeit	S. 16
Abb. 3	Brandverhalten	S. 17
Abb. 4	Druckspannung	S. 18
Abb. 5	Zugfestigkeit	S. 19
Abb. 6	Klemmverhalten	S. 20
Abb. 7	Tabelle Eigenschaften Probekörper	S. 24
Abb. 8	Tabelle Zusammensetzung Probekörper	S. 25
Abb. 9	Grafik Fließschema	S. 28
Abb. 10	Ballenöffner	S. 29
Abb. 11	Flachsflor	S. 30
Abb. 12	Kreuzleger	S. 31
Abb. 13	Schneidanlage	S. 32
Abb. 14	Tabelle Zusammensetzung Bindemittel	S. 33
Abb. 15	Prototyp Auftragsanlage	S. 35

3. Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass die im Rahmen dieses Projektes entwickelte Faser-Schebenplatte die Anforderungen der Projektzielstellung erfüllt. Bei der Umsetzung in den Produktionsprozess traten unerwartete Schwierigkeiten auf, die die vorgesehene Fertigung einer Nullserie nicht ermöglichten. Im Rahmen des Projektes wurde anschließend ein Fertigungsverfahren konzipiert und im Labormaßstab erprobt, mit dem die großtechnische Fertigung der Faser-Schebenplatte realisiert werden kann. Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

Faser-Schebenplatte

Raumgewicht: 55 – 65 kg/m³

Wärmeleitfähigkeit: 0.037 W/mk

Brandklasse: B2 ohne Verwendung von Boraten

Anwendungstyp: W/WL, über 60 kg/m³ Raumgewicht: WD

Empfehlung für das weitere Vorgehen

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass ein wettbewerbsfähiger Dämmstoff aus Flachfasern und Scheben hergestellt werden kann. Auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse sollte im Rahmen einer Fertigungserprobung das Verfahren im Technikumsmaßstab erprobt werden, um dann auf der Basis der dort gewonnenen Anlagen- und Produktparameter eine Investitionsentscheidung treffen zu können.

4. Einleitung

Die Flachshaus GmbH stellt im Rahmen eines ökologischen Gesamtkonzepts baubiologisch hochwertige Dämmplatten mit einem jährlichen Produktionsvolumen von mehr als 10.000 m³ her. Die Hochwertigkeit der Dämmplatten wird bestimmt durch die konsequente Anwendung von nachwachsenden Rohstoffen mit Flachs als Dämmfaser sowie Kartoffelstärke als Bindemittel aus. Die Dämmplatten werden im Hochbau zur Wärme- und Schalldämmung im Wand-, Decken- und Dachausbau verwendet.

Das Ausgangsmaterial für die industrielle Produktion von Dämmplatten aus Flachs sind zur Zeit die bei der mechanischen Flachsaufbereitung anfallenden Kurzfasern. Zur Fasergewinnung ist eine relativ aufwendige Technik notwendig. Nach dem Entkapseln müssen die Holzanteile (Schäben) der gerösteten Pflanze durch das sog. Brechen abgetrennt werden. Beim anschließenden Schwingen werden noch anhaftende Schäben und Kurzfasern mit Schlagmessern von den Langfasern abgetrennt. Diese Verarbeitungstechnik ist sehr kosten- und personalintensiv.

Es soll zum einen eine Flachsdämmplatte entwickelt werden, in der auch die bei der Faser-Herstellung anfallenden Flachsschäben Verarbeitung finden. Weiterhin soll durch eine Umstellung der Verarbeitungstechnik die direkte Nutzung der gesamten Flachspflanze ohne vorherige Trennung von Fasern und Schäben zur Herstellung von Flachsdämmplatten ermöglicht werden.

Mit der Flachsfaser-Schäben-Platte entsteht ein Produkt, das durch niedrigere Rohstoffkosten als bei der herkömmlichen Flachsdämmplatte über Produkteigenschaften wie erhöhter sommerlicher Wärmeschutz und Verbesserung des Schallschutzes verfügt. Somit können weitere Verwendungsmöglichkeiten für Flachsdämmplatten erschlossen und der Preisabstand zu konventionellen Dämmstoffen deutlich verringert werden.

Mit diesem Verfahren eröffnet sich somit erstmals die Möglichkeit zur ganzheitlichen Nutzung der Flachspflanze verbunden mit der Herstellung eines technisch und ökologisch hochwertigen Dämmstoffes.

5. Hauptteil

AP 1 Auswahl der Komponenten, Vorversuche

AP 1.1 Fasern

Die Gewinnung der Flachsfaser erfolgt in mehreren Bearbeitungsschritten. Dieser Prozess beginnt mit der Ernte auf dem Feld und endet je nach Veredlungsgrad in der Flachsschwinge bis hin zur Faseraufbereitung in der Spinnerei.



Abb. 1 Flachspflanze im Blütestand

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Bei der Fasergewinnung wird die Flachspflanze vor der Vollreife geerntet, indem die gesamte Pflanze maschinell aus dem Boden gezogen wird und die einzelnen Halme parallel zueinander im Schwad auf dem Feld abgelegt werden. Damit wird der nachfolgende Verarbeitungsschritt, das sogenannte Rösten, eingeleitet. Dieser Begriff stammt aus dem Althochdeutschen und leitet sich ab vom Begriff des Rottens im Sinne von Verrotten ab. Tatsächlich handelt es sich beim Rösten um einen gesteuerten Verrottungsprozess, bei dem bodenbürtige Mikroorganismen wie Bakterien und Pilze den pektinhaltigen Pflanzenleim in der die Fasern umgebenden Gewebeschicht abbauen. Dieser Vorgang dauert je nach Witterungsbedingungen vier bis sechs Wochen. Am Ende wird die Röste unterbrochen, indem die Pflanzen zu Ballen gepresst und trocken bis zur Verarbeitung zwischengelagert werden. Mit diesem natürlichen Verfahren wird über 80 % der weltweiten Anbaufläche bearbeitet. Auf alternative Verfahren wie etwa die Wasserröste oder chem. Aufschlussverfahren sind von untergeordneter Bedeutung und spielen für die Gewinnung von Fasern für die Dämmstoffherstellung keine Rolle. Nach der Zwischenlagerung wird das Flachstroh der ersten Bearbeitungsstufe zugeführt den sogenannten Schwingen. Dabei werden die Halme durch mechanisches Knicken und Kämmen in die Bestandteile Fasern und Scheben getrennt. Bei den Fasern fallen je nach Verarbeitungsverfahren Langfasern und Kurzfasern oder nur Kurzfasern an. Ziel beider Verfahren ist jedoch die möglichst vollständige Trennung von Scheben und Fasern.

Aus dieser Darstellung wird deutlich, dass in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren wie zum Beispiel

- Röstgrad (unterröstet bis überröstet)
- Leinsorte (hohe Faserfeinheit bis geringe Faserfeinheit)
- Aufbereitungsverfahren (hochwertige Textilqualitäten bis minderwertige Papierqualitäten)

sehr unterschiedliche Faserqualitäten als Ausgangsmaterial zur Herstellung von Dämmstoffen zum Einsatz kommen können. Die Hersteller müssen aus diesem inhomogenen Ausgangsmaterial ein Dämmstoff mit eindeutig vorgegeben Leistungsparametern fertigen. Dies gelingt u.a. dadurch, dass zur Zeit die angewendeten Fertigungsverfahren eine aufwendige Reinigung und Verfeinerung des Fasermaterials beinhalten.

Aus den bisherigen Ausführungen ist erkennbar, dass die angewendeten Verfahrensschritte insgesamt sehr vielstufig und kostenaufwendig sind. In dem hier bearbeiteten Projekt sollte die aufwendige Trennung von Scheben und Fasern umgangen werden und ein Gemisch aus Scheben und Fasern, wie es in der Kurzfaseraufbereitung entsteht, zu Dämmstoffen verarbeitet werden.

AP 1.2 Anforderungsprofil Klebstoffe, Brandschutzmittel

- Bindemittel

Das bisher verwendete Bindemittel erfüllt in seinen Eigenschaften die Spezifikation des Dämmstoffes. Nachteilig ist der hohe Wasseranteil, der mit erheblichem Energieaufwand aus dem Dämmstoff herausgetrocknet werden muss. Das Bindemittelsystem besteht im wesentlichen aus drei Komponenten:

- Bindemittel
- Brandschutzmittel
- Lösungsmittel (Wasser)

Alternative Bindemittelsysteme sollten aus verfahrenstechnischen Gründen Wasser als Lösungsmittel enthalten. Daraus folgt, dass auch die zu untersuchenden Brandschutzmittel wasserlöslich sein müssen.

Aus den vorgenannten Ausführungen ergibt sich folgendes Anforderungsprofil:

Auswahl eines zur Herstellung einer teilelastischen Flachs-Schebenplatte geeigneten wässrigen Bindemittels unter Verzicht auf synthetische Rezepturbestandteile. Das Bindemittel soll insbesondere auch aus Gründen der Akzeptanz durch die Käuferzielgruppe ein möglichst natives Bindemittel aus Naturprodukten sein. Der unter Verwendung des auszuwählenden Bindemittels herzustellende Dämmstoff muss folgende Anforderungen erfüllen:

- | | |
|----------------------------|--|
| ○ Rohdichte | 55-65 kg/m ³ |
| ○ Wärmeleitfähigkeit | max. 0,037 W/mk nach DIN 18165 |
| ○ Brandklasse | B 2 nach DIN 4102 |
| ○ Diffusionswiderstand | $\mu = 1$ |
| ○ Wiederverwendbarkeit | Recycling auf der gleichen Wertigkeitsstufe |
| ○ Kompostierbarkeit | Produkt muss kompostierfähig sein im Sinne der „Bundesabfall Verordnung“ |
| ○ Klebschichteigenschaften | Gewährleistung einer dauerhaften teilelastischen Klebverbindung |

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Zielsetzung ist daher die Bereitstellung von Klebstoffen bzw. Bindemittelsystemen mit einem deutlich reduzierten Wasseranteil und rheologischen Eigenschaften, die eine Reduzierung der Anlagenverschmutzung erlauben bzw. das Anwenden einer geeigneten Anwendungstechnologie ermöglichen. Dabei muss eine ausreichende Brandschutzausrüstung gewährleistet bleiben. Die Rahmenbedingungen werden durch folgende Parameter bestimmt:

- Materialkennwerte
- Fertigungsparameter
- Bauteilbeanspruchung

Materialkennwerte

- Das auszuwählende Bindemittelsystem soll Flachsfasern und Scheben zu einer teilelastischen Dämmstoffplatte verbinden. Flachsfasern und Scheben werden im Rohzustand, das heißt ohne eine wie auch immer geartete Vorbehandlung, verarbeitet.

Die Verarbeitung des auszuwählenden Bindemittelsystems soll möglichst durch Aufsprühen oder Kaschieren erfolgen. Dazu muss das Bindemittel die entsprechenden rheologischen Eigenschaften aufweisen.

- Das Bindemittelsystem muss sicherstellen, dass der Einsatz des zur Zeit eingesetzten Brandschutzmittels (Dinatrium-octaborat-tetrahydrat, CAS-Nr. 12280-03-4) weiterhin möglich ist. Auch die alternativ zu untersuchenden Brandschutzmittel sollten mit dem vorhandenen Bindemittelsystem kompatibel sein. Ein Ausflocken des Brandschutzmittels oder eine Reduzierung des maximal löslichen Anteils in der Bindemittellösung ist zu vermeiden.
- Durch das auszuwählende Bindemittel darf keine nachteilige Beeinflussung der wärmedämmenden Eigenschaften der Flachsfasern eintreten.
- Die Wasserdampfdiffusionseigenschaften der Dämmplatte dürfen nicht verändert werden. Der Dämmstoff muss „atmen“ können.

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Fertigungsparameter

- Flachsfasern und Scheben sollen, wie bereits erwähnt, im Anlieferungszustand im Rahmen eines automatisierten Verfahrens verarbeitet werden. Die Fertigungsrandbedingungen entsprechend der maschinentechnologischen Ausrüstung sind vorgegeben.
- Die Flachsfaser-Schebenplatte beziehungsweise deren Zwischenprodukte müssen unter Fertigungsbedingungen handhabbar sein. Dies gilt im Fertigungsprozess besonders für den Transport, das Ablegen des Mischflors, das Verdichten des Vlieses und das Konfektionieren.
- Im Fertigungsprozess erfüllt das Bindemittel nicht nur die Aufgabe die einzelnen Fasern zu einem Vlies zu verbinden, sondern ist gleichzeitig integraler Bestandteil des Fertigungsprozesses da das Flor durch die erste Bindemittelapplikation die notwendige Festigkeit für die weiteren Fertigungsschritte erlangt. Aus diesem Sachverhalt entsteht die Forderung dass das Bindemittel die für den Fertigungsprozess notwendige Festigkeit nach der ersten Applikation sicherstellt und nach der zweiten Applikation die Erreichung der geforderten Produkteigenschaften ermöglicht.
- Die Temperaturbelastung bei der Herstellung beträgt beim Trocknen bis zu 180°.
Bauteilbeanspruchung
- Die Verarbeitbarkeit der Dämmelemente muss unter baupraktischen Bedingungen gewährleistet sein.
- Die Flachsfaser-Schebenplatte darf beim Einbau weder brechen, einreißen oder knicken, eine ausreichende Elastizität ist sicherzustellen.
- Nach dem Transport zum Einbauort muss die Flachsfaser-Schebenplatte die angegebene Nenndicke einhalten, eine entsprechende Rückstellfähigkeit der Platte ist notwendig.

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

- Beim Einbau also nach dem Zuschnitt muss die Flachsfaser-Schebenplatte quer zur Faserrichtung zwischen den Konstruktionshölzern (z.B. Dachsparren) klemmbar sein.
- Die zu erwartende thermische Belastung im Einbauzustand liegt im Bereich von minus 30° bis plus 90°. Entsprechend den jeweiligen klimatischen Bedingungen ist mit einer ständigen Temperaturwechselbeanspruchung zu rechnen.
- Mechanische Belastungen sind nur beim Transport und beim Einbau zu erwarten.
- Die Bauteillebensdauer wird mit 50 Jahren veranschlagt.
- Die Feuchtaufnahme der Flachsfaser-Schebenplatte darf in Anlehnung an DIN 52 620, nicht mehr als 18 Gewichtsprozent Feuchtigkeit aufnehmen.
- Die Flachsfaser-Schebenplatte muss nach DIN 4102 ein normalentflammbarer Baustoff sein. Eine Einstufung in die Brandklasse B1 –schwer entflammbar- ist wünschenswert.

Neben den dargestellten technischen Anforderungen sind die ökologischen Eigenschaften bei der Auswahl der Bindemittel zu beachten. Auf Grund des angestrebten ökologischen Charakters der Dämmplatte kommen im Bindemittelsystem nur Stoffe in betracht, die folgende Kriterien erfüllen:

- Wasserlöslich/emulgierbar
- Nicht toxisch
- Auf Basis nachwachsender Rohstoffe
- Biologisch abbaubar

AP 1.3 Prüfstand Laboruntersuchungen

Im Rahmen der Laboruntersuchungen der Prüfkörper wurden folgende Prüfstände genutzt:

- Wärmeleitfähigkeitsmessgerät
- Prüfstand Brandverhalten
- Prüfstand Rückstellverhalten
- Prüfstand Zugfestigkeit
- Prüfstand Klemmverhalten

Die **Wärmeleitfähigkeit** wurde gem. DIN 52612 und ISO 8302 mittels einer Plattenapparatur Typ ThermoProof der Fa. Mergenthaler Apparatebau, Ulm gemessen. Das Messverfahren basiert auf einer Plattenapparatur bestehend aus einer Warmplatte und einer Kaltplatte. Zwischen den Platten wird die Probe gehalten, von der die Wärmeleitfähigkeit bestimmt werden soll. Verursacht durch die Temperaturdifferenz fließt ein eindimensionaler, stationärer, probenspezifischer Wärmestrom durch den Probenkörper. Die Wärmeleitfähigkeit λ (Einheit(W/m*K)) wird aus der Temperaturdifferenz zwischen der Kalt- und Warmplatte ermittelt. Die absolute Messgenauigkeit der Wärmeleitfähigkeit liegt bei $\pm 1,5 \%$.



Abb. 2 Wärmeleitfähigkeit

Das **Brandverhalten** der Probekörper wurde in Anlehnung an die DIN 50 050 mittels eines Brennkastens der Fa. Wazau Mess- und Prüfsysteme, Berlin geprüft. Dazu wurden die Prüfkörper in einen Metallrahmen eingespannt. Dieser Metallrahmen wiederum wurde in den Brennkasten eingehängt. Anschließend erfolgt eine Beflammung des Probekörpers mittels eines Propanbrenners für 15 Sekunden. Anhand der unverbrannten Restlänge wird nach Ende der Beflammung das Brandverhalten gem. DIN 4102 Teil 1 bestimmt. Im Anhang 1 sind die Untersuchungen zum Brandverhalten der Probekörper mit alternativen Brandschutzmitteln dargestellt.



Abb. 3 Brandverhalten

Die **Druckspannung** der Probekörper wurde in einem Prüfstand in Anlehnung an die DIN 52 272 Teil 1 bestimmt. Hierzu wurde der Probekörper mittels eines pneumatischen Stempels wiederholt um 10% der Nenndicke gestaucht. Am Ende der Messreihe wurden Ausgangs- und Enddicke miteinander verglichen. Der Test galt als bestanden wenn eine Druckspannung von $> 0,04 \text{ N/mm}^2$ aufgebaut wurde.

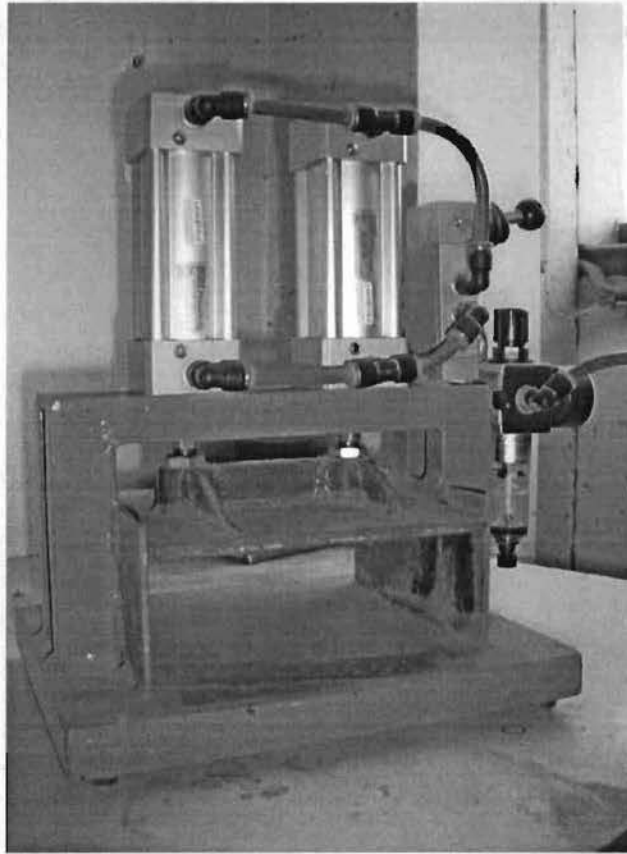


Abb. 4 Messgerät Druckspannung

Als Messgröße für die mechanische Belastbarkeit der Probekörper wurde die **Zugfestigkeit** in Anlehnung an die DIN 18 165 Teil 1 bestimmt. Dazu wurden die Prüfkörper mittels einer Schablone in die gem. DIN vorgesehene Form geschnitten. Anschließend wurde der Prüfkörper in einen Rahmen eingespannt und solange auf Zug belastet bis der Faser-Schebenverbund zerriss.



Abb. 5 Zugfestigkeit

In einem Prüfstand **Klemmverhalten** wurde geprüft ob die Prüfkörper zwischen zwei Konstruktionshölzern ohne zusätzliche Befestigungsmittel klemmt. Die Prüfvorrichtung besteht aus zwei sägerauhen Dachsparren, die auf einer Platte befestigt sind. Der horizontale Abstand der Sparren zueinander lässt sich verschieben. Die Neigung der Platte ist von waagrecht bis senkrecht einstellbar. Dadurch können Anwendungen wie Deckendämmungen (waagrecht) Wanddämmungen (senkrecht) als auch Steildachdämmungen (Anstellwinkel zwischen 45 und 60°) simuliert werden. Die Klemmbarkeit gilt als nachgewiesen sobald der Prüfkörper bei einer Neigung von 60° sieben Tage zwischen den Konstruktionshölzern klemmt.



Abb. 6 Klemmverhalten

AP 2 Herstellung und Beurteilung von Labormustern

AP 2.1 Herstellung

Der Arbeitsablauf zur Herstellung der Labormuster wurde wie folgt entwickelt. Zunächst wurden auf der Basis des vorhandenen Bindemittelsystems Flachsfaser-Schebenprobekörper im Format 15 x 15 x 5 cm hergestellt. Diese Handmuster wurden in einem manuellen Verfahren gefertigt, dass dem tatsächlichen Produktionsprozess in seinen Einzelschritten entspricht. Sobald diese Handmuster durch geeignete Parameter bei der manuellen Herstellung im Labor reproduzierbare Ergebnisse hinsichtlich ihrer Eigenschaften aufwiesen, wurde der Arbeitsablauf festgelegt. Folgende Arbeitsschritte wurden schließlich festgelegt:

- Zuschnitt der unverdichteten Flachsfaserflore
- Sprühapplikation des Bindemittelsystems (Airless)
- Aufstreuen von Flachsscheben
- Erneute Sprühapplikation des Bindemittelsystems
- Zwischentrocknung der Flachs-Schebenflore in einem Trockenschrank
- Erneute Sprühapplikation des Bindemittelsystems
- Übereinanderschichten der einzelnen besprühten Flachs-Schebenflore
- Kalandrieren des Probekörpers auf jeweilige Nenndicke
- Trocknung des Probekörpers im Trockenschrank
- Konditionierung des Probekörpers an der Raumluft.

Für die Bewertung der Probekörper war eine Gesamtvliesdicke von 40 – 60 mm notwendig. Zur Erreichung dieser Dicke mussten je nach Schebenanteil 20 – 40 Florschichten miteinander verklebt werden. Bei der Herstellung von Probekörpern mit mehr als 20 Schichten traten unerwartete Schwierigkeiten auf. Durch den vergleichsweise hohen Wasseranteil im Bindemittel sowie durch den hohen Gesamtbindemittelgehalt wurde das Plattengefüge negativ beeinflusst. Die Struktur des Probekörpers fiel durch das hohe Eigengewicht der Flore zusammen, es kam zu unerwünschten Verdichtungszone. Wie zu erwarten, hatten diese Zonen was auch durch Untersuchungen im Wärmeleitmessgerät bestätigt wurde negativen Einfluss auf die Wärmedämmeigenschaften. Um dieses Problem zumindest bei der Herstellung der Probekörper zu lösen, wurden die Platten spätestens nach 20 Florlagen einer Zwischentrocknung unterzogen, um das Plattengefüge zu stabilisieren.

Mit diesem zusätzlichen Verfahrensschritt gelang es einwandfreie Probekörper zu erstellen.

Die Dokumentation der zur Herstellung der Handmuster notwendigen Verfahrensparameter bei der Sprühapplikation sowie die Handhabbarkeit der Flore bzw. des Probekörpers wurden in die Bewertung der Handmuster mit einbezogen.

AP 2.2 Beurteilung (Vliesstruktur, Plattenstruktur, Stabilität)

Zur Bewertung der Probekörper wurden neben den Kriterien:

- Materialkennwerte
- Fertigungsparameter
- Bauteilbeanspruchung
-

und den Ergebnissen der Prüfstandsuntersuchungen

- Wärmeleitfähigkeitsmessgerät
- Prüfstand Brandverhalten
- Prüfstand Druckspannung
- Prüfstand Zugfestigkeit
- Prüfstand Klemmverhalten

Auch Vliesstruktur, Plattenstruktur und Stabilität des Flachs-Schebenverbundes bewertet. Im Einzelnen wurden die Probekörper folgenden Prüfungen unterzogen:

- Verarbeitung Schneiden mit Handsäge
Die Scheben-Faserplatte wurde mit einer speziellen Dämmstoffsäge der Fa. Sandvik in Längs- und Querrichtung geschnitten. Das Ergebnis wurde im Vergleich zur Standard-Flachsdämmplatte DP bewertet.
- Verarbeitung Schneiden mit Elektrofuchsschwanz (Pendelhubsäge)
Die Scheben-Faserplatte wurde mit dem Elektrofuchsschwanz der mit einem speziellen Wellenschliffmessersatz ausgerüstet war in Längs- und Querrichtung geschnitten. Zusätzlich wurde ein Kurvenschnitt untersucht. Das Ergebnis wurde im Vergleich zur Standard-Flachsdämmplatte DP bewertet.

- **Stabilität des Plattenverbundes**

Die Stabilität des Plattenverbundes wurde untersucht um die Haftung sowohl der Fasern und Scheben als auch des Klebers und des Brandschuttmittels festzustellen. Die Untersuchungen erfolgten in Anlehnung an CUAP Vegetable or animal fibres 2003-05-23 insbesondere der Annex F „Test of retention of chemical additives on fibres (handling test)“.

Im Rahmen des Testes lässt man den Probekörper zehn mal aus einer definierten Höhe auf einen harten Untergrund fallen. Nach Abschluss dieses Testes wird der Probekörper einem erneuten Brandversuch unterzogen. Sinn dieser Untersuchung ist es festzustellen inwieweit die Brandschutzausrüstung der Platten mechanischen Belastungen standhält. Darüber hinaus wurde untersucht wie viel Prozent der Scheben bzw. Fasern im Test sich von der Platte gelöst haben. Dazu wurde der Probekörper vor und nach dem Test gewogen und aus dem abgesplitterten Material Scheben, Fasern und Staub isoliert und ebenfalls gewogen.

AP 2.3 Beurteilung (Wärmeleitfähigkeit, Schallschutz, Anwendungseigenschaften)

Die im Rahmen der Laboruntersuchung hergestellten Prüfkörper wurden wie zuvor dargestellt verschiedenen Prüfungen unterzogen. In den folgenden Tabellen ist eine Auswahl der Ergebnisse von fast 200 Prüfkörpern dargestellt. Die Ergebnisse der Prüfung sind in den folgenden Übersichten dargestellt.

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Übersicht: Eigenschaften ausgewählter Prüfkörper

	Prüf- kriterium	Prüfkörper FSP 04	Prüfkörper FSP 07	Prüfkörper FSP 078	Prüfkörper FSP 153	Prüfkörper FSP 170
Wärmeleitfähigkeit gem. DIN 52 612 Teil 2						
gemessen in W/mK	0,0369 W/mK	0,0365	0,0369	0,0371	0,0382	0,0378
Zielsetzung erfüllt	ja/nein	ja	ja	ja	nein	nein
Brandverhalten gem. DIN 4102 Teil 1						
Kantenbeflammung erfüllt	ja/nein	ja	ja	ja	ja	ja
Flächenbeflammung erfüllt	ja/nein	ja	ja	ja	ja	ja
Materialkennwerte						
eingehalten	ja/nein	ja	ja	ja	ja	ja
Fertigungsparameter						
eingehalten	ja/nein	ja	ja	ja	ja	ja
Bauteilbeanspruchung						
eingehalten	ja/nein	ja	ja	ja	ja	ja
Druckspannung gem. DIN 18 165 Teil 1 für WD						
erfüllt	ja/nein	ja	ja	ja	nein	ja
Zugfestigkeit gem. DIN 18 165 Teil 1						
erfüllt	ja/nein	ja	ja	ja	ja	ja
Klemmverhalten						
erfüllt	ja/nein	nein	ja	ja	ja	ja
Schneiden mit Handsäge						
Beurteilung	Benotung	3	4	4	4	2
Schneiden mit Elektrofuchsschwanz						
Beurteilung	Benotung	2	2	2	2	3
Brandverhalten nach mech. Beanspruchung						
B2 erfüllt	ja/nein	ja	ja	ja	ja	ja
Stoffverluste gesamt nach mech. Belastung						
	< 8 %	ja	ja	ja	ja	nein

Abb. 7/ Tabelle 1 : Eigenschaften ausgewählter Prüfkörper

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Übersicht: Ausgewählte Prüfkörper

Zusammensetzung	Einheit	Prüfkörper FSP 04	Prüfkörper FSP 07	Prüfkörper FSP 78	Prüfkörper FSP 153	Prüfkörper FSP 170
Raumgewicht Prüfkörper	kg/m³	81	66	65	55	53
Flachfasern (ausgerüstet)	kg/m³ %	42 51,85	34 51,52	32 49,23	25,31 46,02	26,89 50,74
Scheben (ausgerüstet)	kg/m³ %	39 48,15	32 48,48	33 50,77	29,68 53,96	26,1 49,25
Brandschutzmittel Natriumoctaborat	kg/m³ %	6,48 8	6,6 10	5,85 9	6,6 12	6,36 12
Bindemittel	kg/m³ %	8,1 10	6,6 10	7,15 11	6,6 12	6,36 12
Additive	kg/m³ %	- -	0,72 11	0,64 9	0,33 5	0,57 9

Abb.8/ Tabelle 2: Zusammensetzung ausgewählter Prüfkörper

AP 3 Nachweis der geforderten Eigenschaften

In Tabelle 8 bzw. 9 sind die Prüfkörper dargestellt die, die geforderten Eigenschaften ganz oder zum Teil erfüllt haben. Vollständig wurden die Anforderungen von den Prüfkörpern FSP 07 und FSP 78 erfüllt. Im folgenden Arbeitsschritt sollten auf der Basis der Prüfkörperuntersuchungen Platten im Maßstab 1:1 hergestellt werden und den gem. Abschnitt 3.1. vorgesehenen Prüfungen unterzogen werden. Hierbei traten die aus der Laborfertigung bereits bekannten Probleme hinsichtlich der Vliesstruktur auf. Es kam wiederum zu Veränderungen der Vliesstruktur durch das hohe Eigengewicht der Flore bei den 1:1 Mustern war jedoch aus technischen Gründen eine Zwischentrocknung im Ofen nicht möglich, da die platten auf Grund ihrer Abmessung 1.000 mm x 625 mm nicht in den Ofen passten. Unter diesen Umständen wurden die Platten mit Warmluftgebläsen zwischen getrocknet was einerseits sehr zeitaufwendig war und durch das wiederholte Handling der noch feuchten Platten die Vliesstruktur veränderte. Im Endergebnis mussten wir feststellen das durch dieses verfahren nur bedingt reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen waren. Aus diesem Grund haben darauf verzichtet die Platten hinsichtlich ihrer schalltechnischen Eigenschaften untersuchen zu lassen, da wir eine unrealistische Streuung der Ergebnisse befürchteten. Wir haben uns daher auf die Einbaueigenschaften und das Brandschutzverhalten konzentriert. Die Materialeigenschaft „Sommerlicher Wärmeschutz“ haben wir auf der Basis der Raumgewichte und der spezifischen Wärmekapazitäten bestimmt.

(Siehe Anhang 1)

AP 3.1 Erprobung/Optimierung der Dämmplatte

(Einbau, sommerlicher Wärmeschutz, Schalldämmmaß, Brandschutz)

Im Rahmen der praktischen Erprobung haben wir einen Vergleichstest zwischen Mineralwollplatten **ISOVER ZKF-1-040** den Standard- Flachshausdämmplatten DP 080 sowie den 1:1 Mustern durchgeführt. Dazu wurden jeweils vier Platten der Abmessungen 1.000x625x80mm in eine senkrechte Ständerwand sowie in einen Dachsparren eingebaut. Dabei mussten die Platten zunächst auf Maß gesägt werden und anschließend zwischen die Ständer/Sparren geklemmt werden. Die Versuche wurden von Laien durchgeführt, die Ergebnisse sind in Abb. 7/Tab. 1 dokumentiert. Bewertet wurden das Klemmverhalten, die Schneidbarkeit und das allgemeine Handling.

Das Brandverhalten der Platten wurde untersucht, indem die Platten nach dem Einbau wieder aus dem Gefach entfernt wurden und die Brandeigenschaften nach dem Zuschnitt erneut geprüft wurden. Die Ergebnisse sind in Abschnitt ebenfalls in Abb. 7/Tab. 1 dokumentiert.

AP 4 Herstellung und Erprobung von Mustern im Technikmaßstab

AP 4.1 Entwicklung der Bindemittelapplikation

Auf der Basis der Erkenntnisse der Probekörperfertigung wurde deutlich das entweder ein komplett neues Applikationsverfahren gefunden werden musste oder eine Modifikation des vorhanden Bindemittels das die Verdichtungen im Vlies vermeiden sollte. Bereits bei der Definition des Anforderungsprofils an das modifizierte Bindemittel wurde deutlich, dass die Forderung einer hohen und dauerhaften Festigkeit des Faser-/Schebenflores bei gleichzeitiger Elastizität des Faservlieses nicht ohne weiteres erfüllt werden kann. Um die Frage zu beantworten, ob überhaupt eine Flachsfaser-/Schebenplatte mit der geforderten Festigkeit und Elastizität hergestellt werden kann, wurden zunächst Prüfkörper mit synthetischen Bindemitteln auf der Basis von Polyvinylacetat und deren Derivaten hergestellt. Diese Handmuster wiesen auch bei größeren Vliesdicken eine stabile Vliesstruktur und waren schneid- und klemmbar. Somit war sichergestellt, dass eine Flachsfaser-/Schebenplatte mit dem Flachshaus - Fertigungsverfahren hergestellt werden konnte. Auf Grund der synthetischen Bestandteile entsprach dieses Bindemittel jedoch nicht der Projektzielsetzung.

Die Recherche geeigneter und am Markt verfügbarer Bindemittel ergab dass gegenwärtig kein Bindemittel die spezifischen Anforderung der bei Flachshaus eingesetzten Fertigungstechnik vollkommen erfüllt. Das derzeit zur Herstellung der Flachsfaserdämmplatten eingesetzte Bindemittel auf Stärkebasis ist bereits erfolgreich an die Fertigungsbedingungen angepasst. Deshalb wurde beschlossen die Modifikation an dem bereits eingesetzten Bindemittel EMOX TSC durchzuführen. Ziel der Modifikation war eine verbesserte Stabilität und Elastizität im Faserverbund. Grundsätzlich kann eine verbesserte Elastizität durch eine Vernetzung zwischen den Makromolekülen der Stärke erreicht werden. Dabei ist der Vernetzungsgrad ausschlaggebend für die Eigenschaften des Klebefilms. Gegen Ende der Projektlaufzeit wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Emslandstärke, Emlichheim, ein geeignetes Additiv gefunden und auf seine Anwendbarkeit getestet. Das eingesetzte Additiv auf Basis von Ammonium – Zirkoncarbonat führt zu einer zusätzlichen Vernetzung der Makromoleküle der Stärke. Die gezielte Dosierung des Additives führte bei der Herstellung von Prüfkörpern zu einer stabilen Vliesstruktur und guten elastischen Eigenschaften. Verdichtungszone wie bei den Vliesen ohne Additiv konnten nicht beobachtet werden. Anhand der Ergebnisse der Laborversuche wurde ein Gewichtsanteil von 9 % Additiv bezogen auf die eingesetzte Stärkemenge als optimal ermittelt.

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

AP 4.2 Integration in den Herstellungsprozess

Die Herstellung der Flachsdämmstoffe erfolgt mit einer Verarbeitungslinie, die aus an sich bekannten Anlagenteilen der textilen Vliesherstellung besteht. Abbildung 9 zeigt das Fließschema der Fertigungslinie der Flachshaus GmbH.

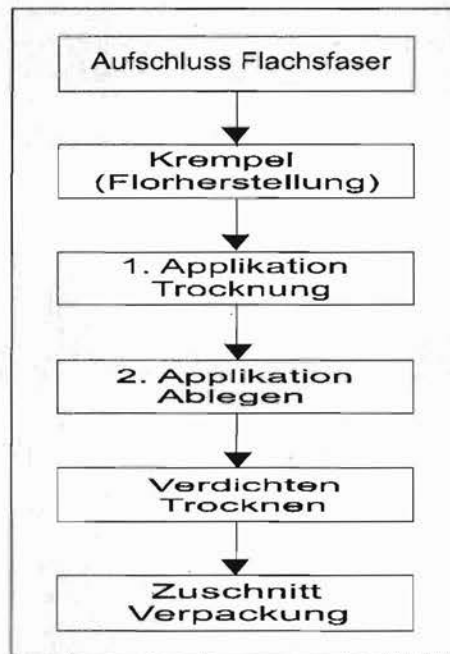


Abb. 9/ Grafik 1: Fließschema der Fertigungslinie bei der Flachshaus GmbH

Das Herstellungsverfahren beginnt mit dem Aufschluss des in Ballen angelieferten Flachswerg. Das Flachswerg verschiedener Qualitäten wird aufgeschlossen, intensiv vermischt, von noch anhaftenden Scheben befreit.



Abb. 10 Anlage zur Ballenauflösung und Feinöffnung der Flachsfaser-Ballen

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Nach dem Feinaufschluss werden die Fasern pneumatisch zu einem Vorratsbehälter gefördert und von dort dem Krempelprozess zugeführt. Zweck des Krempelprozesses ist es, zunächst eine Entwirrung der Flachsfasern sowie eine Verfeinerung und Reinigung der Fasern zu erreichen. Am Ende der Krempel ein gleichmäßig zusammenhängendes Flor zu bilden. Die Krempel besteht aus einem System von mit sogenannten Garnituren (sägezahnförmiger Draht) belegten Walzen, nämlich einer schnell umlaufenden Hauptwalze, welche die Fasern auseinanderzieht, und einer Anordnung von schnelllaufenden Walzen die Fasern weiter verfeinern und vergleichmäßigen. Am Ende der Krempel entsteht ein dünner etwa 4-5mm dicker Faserflor der dann über eine Abnahme Vorrichtung der ersten Applikationsstation mit Binde- und Brandschutzmittel zugeführt wird.

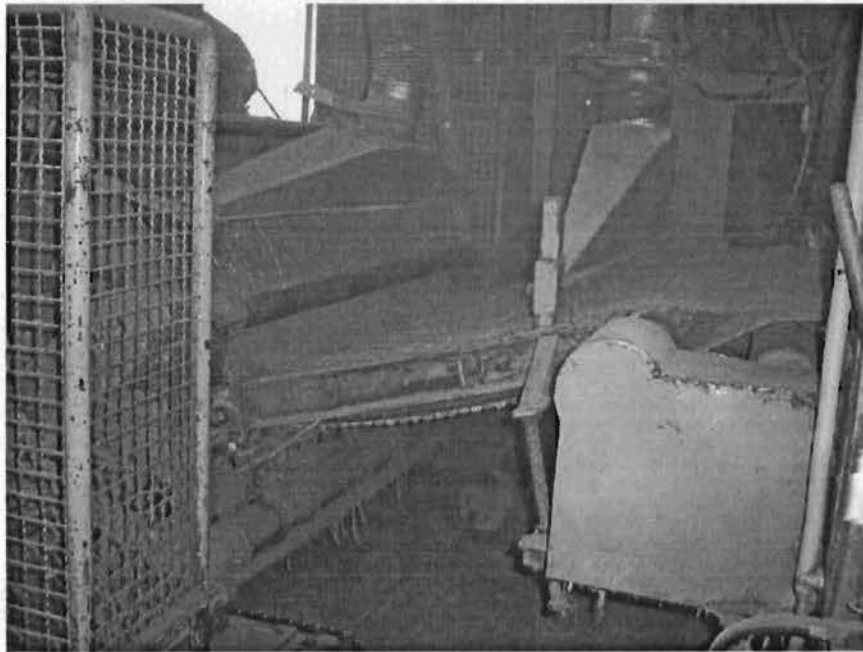


Abb. 11 Abnehmer Walze und ablaufendes Flachsfloor, am rechten Bildrand ist die erste Applikationsstation zu erkennen

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Sinn dieser ersten Applikation ist eine Brandschutzausrüstung und erste Verfestigung des Flors für die nächsten Bearbeitungsschritte. Nach der Besprühung mit einer wässrigen Lösung aus einem Brandschutz- und Bindemittel wird der Flor anschließend getrocknet und dann dem nächsten Aggregat zugeführt.

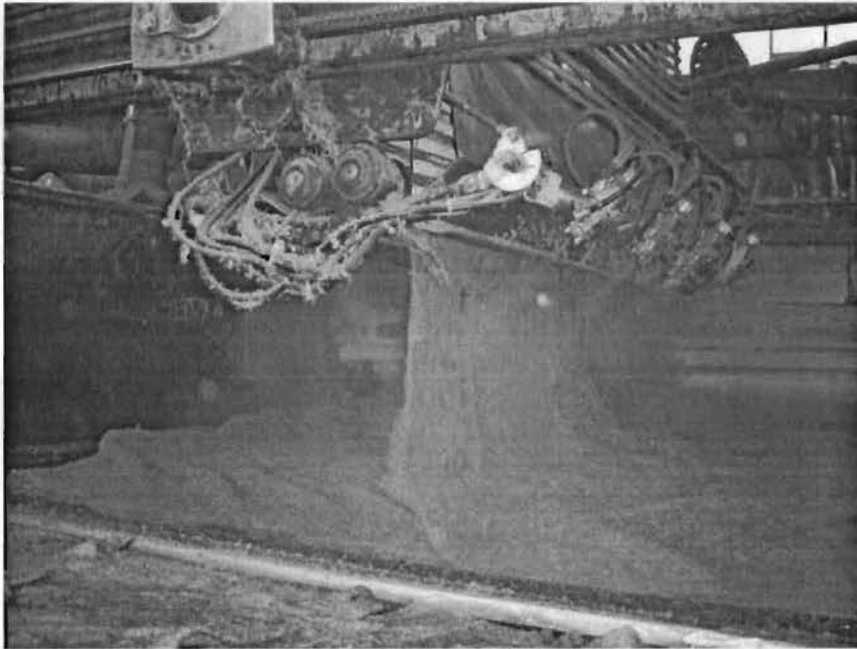


Abb. 12 Flor wird nach der ersten Applikation dem Kreuzleger zugeführt

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Das patentrechtlich geschützte Verfahren am Leger vereint zwei Bearbeitungsschritte, zunächst wird auf den Flor während des Legevorgangs zum zweiten Mal die wässrige Lösung aus Brandschutz- und Bindemittel appliziert. Danach wird der besprühte Flor in mehreren Lagen übereinandergeschichtet und zwar solange bis die gewünschte Vlieshöhe erreicht ist. Das auf die gewünschte Dicke abgelegte Vlies wird mittels Kalandrierwalzen auf die jeweilige Nenndicke verdichtet und einem gasbeheiztem Trockner zugeführt. Nach dem Passieren des Trockners wird die fertige Dämmplatte auf das gewünschte Maß geschnitten und der Verpackungslinie zugeführt.

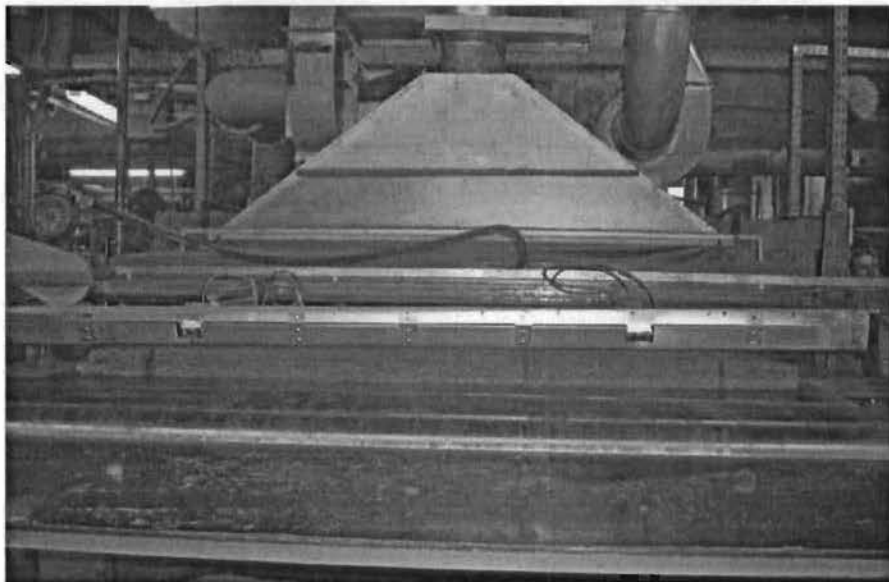


Abb. 13 Schneidanlage, im Hintergrund ist der Trockner mit Absaugvorrichtung zu erkennen

AP 4.3 Fertigung einer Nullserie (Beurteilung, Optimierung)

Aufgrund der positiven Ergebnisse der Labormuster mit dem o.e. Additiv wurden Fertigungsversuche auf der Produktionsanlage der Flachshaus GmbH gefahren. Das Bindemittel wurde wie folgt angesetzt :

Komponenten	Gewichtsprozent
150 l Wasser *	75,6
20 kg EMOX TSC	10,2
1,8 kg Additiv	0,9
26 kg Borsalz	13,3

Abb. 14/ Tab. 3: Zusammensetzung Bindemittel

* Die Dichte (ρ) bei 80°C ist $\rho = 0,986 \text{ kg/l}$, bei 80°C wiegen 150 l Wasser = 147,9 kg

Alle weiteren Fertigungsparameter wurden entsprechend der Fertigung der konventionellen Dämmplatten eingestellt. Die Geschwindigkeit des Flortransportes lag bei etwa 16 m/min, das Florgewicht betrug 65 g/m². Die Scheben wurden vor der ersten Bindemittelapplikation in der Kabine von Hand auf das Flor aufgestreut. Die Zielvorgabe war hier ein Schebenauftrag von 70 g/m². Die erste Bindemittelapplikation erfolgte über vier Düsen einseitig von oben auf das vorbeifahrende Flor. Am Leger erfolgte die zweite beidseitige Bindemittelapplikation auf das herabfallende Flor mit jeweils 4 Düsen für die Vor- bzw. Rückseite des Flors. Bei der ersten Applikation in der Kabine wurden 30 % der gesamten Bindemittelmenge aufgebracht, die Applikation der restlichen 70 % erfolgte am Leger. Die einzelnen Florlagen wurden am Leger bis zur gewünschten Vliesdicke von 40, 60 und 100 mm übereinander gelegt. Die Verdichtung der Flore erfolgte mittels eines Kalandrierbandes auf die vorgesehenen Vliesdicken. Anschließend erfolgte der Zuschnitt in Längs- und Querrichtung auf ein Format von 1.000 x 625mm.

Versuchsdurchführung

Nach dem Anfahren der Fertigungslinie wurden die ersten Meter verworfen, um sicherzustellen, dass Bindemittelreste ohne Additiv aus der Serienfertigung die Eigenschaften der Flachsfaser-/Schebenplatte negativ beeinflussen. Danach wurden zunächst einige Flachsfaserplatten ohne Schebenzusatz hergestellt. Diese wurden hinsichtlich ihrer Eigenschaften mit den konventionell hergestellten Flachsfaserplatten verglichen.

Zur Herstellung der Flachsfaser-/Schebenplatte wurde von Hand Scheben auf den Flor aufgestreut und dann mit diesem Flor durch den gesamten Produktionsprozess gefahren.

Ergebnisse

Das Verfahren hat grundsätzlich funktioniert, am Ende der Produktionslinie wurden Flachsfaser-/Schebenplatten produziert, die den Vorgaben der Labormuster entsprachen. Somit wurde die grundsätzliche Eignung des Flachshaus-Verfahrens zur Produktion von Flachsfaser-/Schebenplatten unter Beweis gestellt. Die Hauptproblematik in den Fertigungsversuchen bestand jedoch in der gleichmäßigen Aufbringung der Scheben. Die Scheben wurden zunächst von Hand in das laufende Flor eingestreut. Dabei ergaben sich Gewichtsunterschiede sowohl in der Längs- als auch in der Querverteilung. Beim Nachwiegen der einzelnen Flore wurden Streuungen zwischen 10 g/m^2 und 120 g/m^2 gemessen. Diese Streuungen waren nicht akzeptabel. In einem weiteren Schritt wurde die Einbringung mit Hilfe eines Rüttelsiebes teilmechanisiert. Dieses Rüttelsieb wurde hinter der Krempel über die gesamte Arbeitsbreite oberhalb des Flors montiert. Über eine Rüttelvorrichtung und eine mit verstellbaren Schlitzen ausgestattete Rüttelwanne sollten die Scheben ausgebracht werden. Im praktischen Versuch zeigte sich, dass die Scheben in der Rüttelwanne zur Klumpenbildung neigten und ein gleichmäßiger Austrag auch bei verschiedener Variation der Schlitzbreite ungleichmäßig blieb. Die Ergebnisse waren auch deshalb unbefriedigend weil es durch die unkontrollierte Ausbringung der Scheben teilweise zu Klumpenbildung auf dem Flor kam. Diese Klumpen wurden dann in den nachfolgenden Prozessen nur unzureichend mit der Bindemittellösung benetzt, sodass es im Fertigungsprozess durch die unbefriedigende Haftung der Scheben zu Störungen kam. In einem nächsten Schritt wurde das Modell einer Auftragsanlage mittels einer rotierenden Welle erprobt.

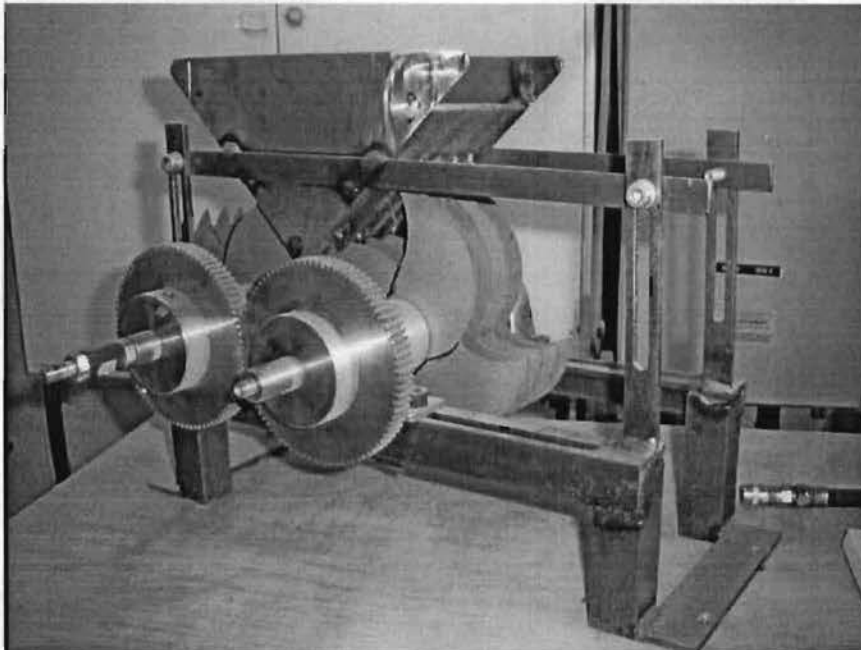


Abb. 15 Prototyp Auftragsanlage

Bei diesem Verfahren werden die Scheben von sichelförmigen Messern die auf einer rotierenden Welle montiert sind durch ein Schlitzblech auf das Flor aufgebracht. Durch die Variation von Schlitzbreite und Wellendrehzahl war eine sehr genaue Steuerung der Ausbringungsmenge möglich. Wir haben das Modell zusammen mit einem ortsansässigen Maschinenbauunternehmen entwickelt. Die Umsetzung in einen Prototypen mit einer Arbeitsbreite von 2.000 mm war aus Zeit- und Kostengründen (**Investitionskosten: 35.400,- Euro**) im Rahmen dieses Projektes nicht möglich.

6. Fazit

Im Rahmen des Projektes ist es gelungen eine Flachsfaser-/Schebenplatte herzustellen die der Zielstellung entsprach. Aufgrund nicht vorhersehbarer Schwierigkeiten in der Fertigungserprobung konnte keine Nullserie mit dem Produkt gefahren werden. Die grundsätzliche Eignung des Produktionsverfahrens konnte jedoch nachgewiesen werden.

Zukünftige Forschungsarbeiten sollten auf diesen Ergebnissen aufbauen mit der Zielrichtung eine produktionstechnische Umsetzung der Forschungsergebnisse zu ermöglichen.

7. Literaturverzeichnis

Dämmstoffe

- [1] N.N.: „Dämmstoffe für den baulichen Wärmeschutz, Übersicht über genormte Produkte, Stand 1999“, Broschüre des Gesamtverband Dämmstoffindustrie.
- [2] Eicke- Henning: „Neue Dämmstoffe (k)eine Alternative“, 1997, Zeitschriftenaufsatz: Elektrowärme International Edition A, Band 55, Heft A4, Seite 154-160.
- [3] N.N.: „Dämmstoffe aus der heimischen Natur“, 1997, Broschüre der Centrale Marketing Gesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH (CMA)
- [4] N.N.: „Nicht zu fassen“, 1998, Zeitschriftenaufsatz: Schwerpunkt Energie, Öko- Test Dämmstoffe, Heft 1/98, Seite 43-53.
- [5] N.N.: Draft CUAP Vegetable or animal fibres, 2003
- [6] Lutz, Peter: „Lehrbuch der Bauphysik“, 3. Auflage, Stuttgart 1994

Flachs

- [1] Satlow-G, Zaremba-S, Wulfhorst-B: „Flachs sowie andere Bast und Hartfasern“, 1994, Zeitschriftenaufsatz: Chemiefasern – Textilindustrie, Band 44, Heft 11/12, Seite 765-785.
- [2] N.N.: „Anbauflächenstatistik von Faserpflanzen (Flachs und Hanf) in der EU, BRD und Baden-Württemberg
- [3] Seymor-J: „Vergessene Künste: Bilder vom alten Handwerk“, 1984, Ravensburg, Seite 177-179.
- [4] Heinz-Werner Haudek: „Textilfasern“, Wien 1980

Klebstoffe

- [1] N.N.: „Handbuch Klebstoffe, 1998-2000“, 1998, Vieweg Verlag, Industrieverband Klebstoffe e.V. und Adhäsion kleben & dichten.
- [2] Habenicht: „Kleben: Grundlagen, Technologie, Anwendungen“, 1997, Springer Verlag.
- [3] Steglich et. al.: Römpf Lexikon „Naturstoffe“, 1997, Thieme Verlag.

8. Anhänge

A1 – spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität unterschiedlicher Produkte ergeben sich aus:

- den Kenndaten der einzelnen Produkte
- der Zusammensetzung der Stoffe
- dem Raumgewicht des fertigen Produktes

Die spez. Wärmekapazität von Baustoffen ist in der EN 12 524:2000 erfasst. Darüber hinaus können einzelne Produkte auf ihre tatsächliche Wärmekapazität untersucht werden, da die Norm nur Pauschalwerte für Produktgruppen angeben kann.

Flachs und Schäben sind in der EN 12 524:2000 nicht erfasst. Es ist erforderlich, auf Daten der Literatur bzw. von Prüfungen zurückzugreifen.

Literaturangaben, soweit sie in diesem Zusammenhang stehen, geben folgende Daten an (für Dämmstoffprodukte):

Holzfasern:	nach EN 12 524	1.400 J/kg*K
	Frauenhofer- Institut:	2.000 J/kg*K
	Herstellerangaben:	1.600 bis 2.100 J/kg*K
Flachsfaser:	nach DIN 4108:	1.300 J/kg*K
	(diese DIN ist nicht mehr gültig)	
	Frauenhofer- Institut:	1.600 J/kg*K
	(gemessen für Faserdämmstoff der Fa. Flachshaus)	
Schäben:	keine Angaben in Normen	
	Herstellerangaben:	1.600 bis 2.000 J/kg*K

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Für eine Dämmplatte aus 51% Flachsfasern und 49% Schäben ergibt sich rechnerisch, unter Annahme der o.g. Daten eine spezifische Wärmekapazität von **1.447 J/kg*K bis 1.796 J/kg*K**.

Als Mittelwert für Flachshaus-Produkte wird hier angesetzt : **1.600 J/kg*K**

Für eine 20 cm dicke Dämmung bei einem Raumgewicht von 65 kg/m³ (Dämmstoff) ergibt sich somit eine spezifische Wärmespeicherkapazität von **20.800 J/K*m²**

Als Vergleich kann für eine flexible Holzfaserdämmplatte angesetzt werden:

1.400 J/kg*K (DIN EN 12 524)

2.000 J/kg*K (Frauenhofer- Institut)

2.100 J/kg*K (Herstellerangaben)

Die Herstellerangaben beziehen sich in erster Linie auf den reinen Holzanteil. Da die flexiblen Platten Kunstfaseranteile enthalten, wird hier von einer mittleren Wärmespeicherkapazität von **2.000 J/kg*K** ausgegangen.

Für eine 20 cm dicke Dämmung bei einem Raumgewicht von 45 kg/m³ (Dämmstoff) ergibt sich somit eine spezifische Wärmespeicherkapazität von **18.000 J/K*m²**

Der sommerliche Wärmeschutz ergibt sich in gedämmten Konstruktionen aus dem Gesamtaufbau. Dabei wird unterschieden in Phasenverschiebung und Amplitudendämpfung. Bei Leichtbaukonstruktionen hat der Dämmstoff den größten Anteil und ist damit letztendlich entscheidend für den sommerlichen Wärmeschutz. Hohe spezifische Speicherkapazitäten, hohe Raumgewichte und dicke Dämmstoffdicken ergeben hier die besten Ergebnisse.

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

A2 – Alternative Brandschutzmittel

Im nachfolgenden Kapitel sind die Untersuchungen zur Verbesserung der Brandschutzeigenschaften sowie zum Einsatz von boratfreien Brandschutzmitteln dargestellt.

Zur Verbesserung der Brandeigenschaften des Flachsfaser/Schebengemisches wurden die Fasern zunächst mit konz. Natronlauge (30 proz.) behandelt und danach mit Polybor versetzt.

Dazu wurde das unbehandelte Rohmaterial in die NaOH-Lösung 30 min getaucht, abgequetscht und dann 30 min. in eine 10 proz. wässrige Polybor Lösung getaucht.

Das Material wurde wieder abgequetscht und im Trockenofen getrocknet. Farbvertiefung des Flaches hellbraun zu braun und größere Sprödigkeit der Fasern. Das Material ist nicht brennbar.

Analoge Versuche wurden im Anschluss mit fertigen Floren durchgeführt.

Die Flore wurden mit 2N NaOH beidseitig besprüht und getrocknet und anschließend mit Kleberlösung 80:20 (mit 10% Polybor, 10% EMOX) zu Vliesen verklebt.

Die Vliese wurden im Trockenofen bei 120 °C getrocknet, lange Trocknungsdauer, (NaOH stark hygroskopisch)

Für weitere Versuche wurde jetzt zunächst geprüft, ob die NaOH Behandlung auch mit anderen Brandschutzmitteln (Ammoniumphosphate, BHF-Chemie) kombiniert werden kann.

Dazu wurden 2 Probevliese mit Polybor und BHF zum Vergleich hergestellt. Die Flore wurden beidseitig mit einer 15proz. NaOH besprüht, getrocknet und im Anschluss mit Kleber/Brandschutzgemisch 80:20 (15% Brandschutz, 5% Kleber) zu Vliesen verfestigt.

Vlies	Gehalt NaOH	Gehalt EMOX	Brandschutz	Gehalt Brandschutz	Brandeigenschaften
1	17,0%	6,8%	Polybor	20,5 %	sehr gut Vliesstruktur zerstört
2	17,4%	5,5%	BHF-Phosphat	16,5%	sehr gut Vliesstruktur erhalten

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Rechenweg: Die Flore wurden vor der Behandlung gewogen, das Gewicht auf ihr Trockengewicht (-5% Wasser) reduziert und mit NaOH besprüht. Nach der vollständigen Trocknung im Trockenofen wurde erneut wieder ihr Trockengewicht bestimmt und nach Besprühung wieder das Trockengewicht bestimmt.

Aus diesen Trockenwerten ergeben sich die absoluten Gehalte an NaOH, Brandschutz, EMOX. (ohne deren Wassergehalt)

Beispiel: Flore wiegen 56,2 g. Trocken wiegen diese dann $56,2 \text{ g} - 5\% = 53,39 \text{ g}$.

Nach der Besprühung mit 10% NaOH Lösung und Trocknung im Trockenofen wiegen sie direkt danach 62,5g. Somit beträgt die reine Stoffmenge NaOH = $62,5 - 53,39 = 9,11 \text{ g}$.

Das sind bezogen auf die trocknen Flore $9,11/53,39 = 17,0\%$.

Nach Besprühung mit der Lösung im Trockenzustand wiegt das Vlies 77,1g. Somit sind noch mal 14,6g Stoff hinzu gekommen. Bezogen auf die trocknen Flore sind das wiederum 27,3% Stoff.

Bei der Lösung 80% Wasser, 15% Brandschutz, 5% EMOX ergibt sich somit 6,8% EMOX und 20,5% Brandschutz.

Insgesamt haben die Flore somit 44,3% Stoff erhalten.

Versuchsreihe mit NaOH/EMOX/BHF-Phosphat

Zur Ermittlung der Mindestkonzentration an NaOH wurde eine Versuchsreihe mit verschiedenen Mengen Natronlauge und Brandschutzmittel BHF durchgeführt. Die Herstellung der Vliese erfolgte in einem getrennten Sprühverfahren. Dazu wurden die Flore mit einer 3,75 proz. NaOH besprüht. Zur Ermittlung der Massenaufnahme wurden die Flore trocken gewogen, nach der Behandlung mit NaOH bei 105 °C getrocknet und gewogen. Das Sprühen mit höherkonzentrierten Lösungen war mit der Wagner-Sprühpistole nicht möglich. Im Anschluss wurden die Flore wie üblich mit einer 20 proz. Mischung EMOX/BHF 1:1 zu den Vliesen verarbeitet und wiederum die Trockenmasse ermittelt.

Zur Prüfung der Brandeigenschaften wurden Vliesstreifen von ca. 10 mm Dicke senkrecht in die Mitte der Bunsenbrennerflamme gehalten und nach 15 sec. Flammdauer die Flammspitzenhöhe, evtl. Nachglimmen und Struktur der Vliese geprüft.

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Lfd. Nr.	% NaOH	% BHF	% EMOX	Brandeigenschaften
1	0,3	11,5	11,5	wie ohne NaOH
2	0,6	11,5	11,5	wie ohne NaOH
3	2,8	10,1	10,1	wie ohne NaOH
4	3,0	7,5	7,5	wie ohne NaOH
5	3,7	11,8	11,8	gut
6	4,0	13,9	13,9	gut
7	5,2	9,9	9,9	gut
8	6,9	12,1	12,1	sehr gut
9	7,1	11,4	11,4	sehr gut
10	9,6	15,8	15,8	sehr gut, aber keine offensichtliche Verbesserung gegen 8 und 9 erkennbar

Somit liegt die notwendige Konzentration **NaOH bei ca. 7-10%**.

In einem anschließenden Versuch zur gleichzeitigen Besprühung mit NaOH und EMOX/BHF hat sich gezeigt, dass an dieser Stelle bei gleicher NaOH Menge wie 9 oder 10 nicht die gewünschten Brandeigenschaften erzielt werden.

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Versuche NaOH/EMOX/Borsäure

Theoretisch sollte die Wirkung der schwach sauren Borsäure durch Vorbehandlung der Flocke mit Natronlauge verbessert werden. Daher wurden wie oben entsprechende Vliese mit H_3BO_3 als Brandschutzmittel hergestellt.

Lfd. Nr.	% NaOH	% H_3BO_3	% EMOX	Brandeigenschaften
1	8,1	5,9	5,9	befr., rel. starkes Glimmen u. Nachglimmen
2	8,5	3,7	3,7	schlecht
3	8,6	5,4	5,4	befr., rel. starkes Glimmen u. Nachglimmen
4	9,8	10,0	10,0	gut, wie NaOH/BHF aber mehr Glimmen
5	---	8,5	8,5	schlecht, brennt selbständig

Auch Borsäure ist als Brandschutzmittel hier brauchbar, jedoch keine signifikante Verbesserung gegenüber Phosphat-Brandschutzmittel.

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

Weitere Versuche mit Ca(OH)_2 und Na_2CO_3

1. Ca(OH)_2

Anstelle von Natriumhydroxid sollte in diesen Versuchen gezeigt werden, ob auch schwächere Basen wie Calciumhydroxid oder Soda für die brandhemmende Wirkung ausreichen.

Dazu wurden analog zu der NaOH Versuchsreihe entsprechende Vliese hergestellt.

Bei beiden Reagenzien zeigte sich, dass diese anscheinend nicht mit der Faser reagieren, sondern einfach auf der Oberfläche kristallisieren. Bei Ca(OH)_2 zeigte sich außerdem, dass das oberflächlich aufgebrachte Ca(OH)_2 Staub nach Trocknen der Flore wieder herausrieselte.

Daher wurde das Ca(OH)_2 in Verbindung mit Kleber auf die Flore aufgebracht.

Lfd. Nr.	% Ca(OH)_2	% BHF	% EMOX	Brandeigenschaften
1	---	13,6	13,6	gut -
2	6,9	12,9	12,9	wie ohne Ca(OH)_2
3	11,5	12,2	12,2	wie ohne Ca(OH)_2

Hier ist somit nicht der gewünschte Effekt erzielt worden.

Flachshaus GmbH

Werk für Vliesstoffe

2. Soda

Die entsprechenden Versuche mit Soda führten zu ähnlichen Resultaten.

Lfd. Nr.	% Soda	% BHF	% EMOX	Brandeigenschaften
1	15,6	9,8	9,8	am besten, bessere Verteilung Soda durch häufigeres Besprühen mit verdünnter Lösung
2	15,6	9,2	9,2	schlecht, langes Nachglimmen, CO ₂ Effekt
3	26,2	10,1	10,1	schlecht, langes Nachglimmen, CO ₂ Effekt

Zusammenfassung

Bei der Behandlung von Flachsfasern und Scheben mit Natronlauge hat sich gezeigt, dass in Verbindung mit gängigen Brandschutzmitteln eine deutliche Verbesserung der Brandeigenschaften erzielt werden kann. Dazu ist jedoch eine Reaktion der Base mit der Faser bzw. den Scheben notwendig, schwächere Basen erreichen keinen Effekt. Es konnte somit nachgewiesen werden dass auch unter Verzicht auf borhaltige Verbindungen die Brandklasse B2 zu erreichen ist.