

Cellulose Polymerisiert

Neue Methoden zur Verarbeitung eines Polymer-
Celluloseschaums nach bauökologischen Kriterien

V. Reisecker

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

11/2012

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>

Cellulose Polymerisiert

Neue Methoden zur Verarbeitung eines Polymer-Celluloseschaums
nach bauökologischen Kriterien

DI Volker Reisecker, Dr. Wolfgang Stadlbauer,
Bianca Edlinger BSc,
Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

Wolfgang Lackner, Thomas Halper, Georg Lackner
Zellulosedämmstoffproduktion CPH Beteiligungs GmbH & Co KG

Johann Hammerschmid, Thomas Hofstätter, Martin Reingruber
Hammerschmid Maschinenbau GmbH

Wien, Jänner 2012

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 <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	5
Abstract	6
1 Einleitung	7
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt	8
2.1 Vorteile von Zellulosedämmung	8
2.2 Stand der Technik	9
3 Ergebnisse	11
3.1 AP1: Literatur- und Patentrecherche	11
3.2 AP2: Materialentwicklung und Eigenschaftsmatrix	13
3.3 AP3: Verfahrensentwicklung – Sprühauftragung	17
3.4 AP4: Potentialbewertung und Praxistest	22
3.5 AP5: Wirtschaftlichkeitsprüfung	25
4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms	26
5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	27
6 Ausblick und Empfehlungen	28
7 Abbildungsverzeichnis	29

Kurzfassung

Durch den Einsatz moderner, hochwirksamer Dämmungen kann das Abstrahlen von Wärme, und somit Energie, verhindert werden. Gerade im Sanieren älterer Gebäude steckt sehr großes Potential und ist das Markterfordernis nach neuen, effizienten und vor allem einfach handhabbaren und dabei ökologischen Dämm-Methoden enorm.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines wasserfreien, aufspritzbaren Zellulose-Verbundes – als Vor-Ort- und Fabriksanwendung – auf Basis von thermoplastischen Klebern als potenzieller Dämmstoff aus nachwachsenden Rohstoffen. Durch den neuartigen Ansatz, thermoplastische Klebersysteme im Verbund mit Zellulosefasern im Sprühverfahren zu verwenden, soll das Anwendungsprofil der Zellulose als innovativer Werkstoff für zukünftige Dämmstoffanwendungen erweitert werden.

Nach einer ausgebreiteten Studie von Zelluloseverbunden mit verschiedenen thermoplastischen Klebern wird eine engere Auswahl an potenziellen Klebern für Sprühversuche und für Versuche zur Einbringung von Zelluloseverbunden in horizontale Hohlräume an neu entwickelten Prototypen zur Sprühauftragung sowie zum Einblasen verwendet. Eine anschließende Optimierung der Rezepturen wird anhand der Ergebnisse aus den Versuchen erfolgen. Eine Potenzialbewertung und Praxistests des Zellulose-Kleber-Verbundes sollen Aufschluss über ein mögliches industrielles Interesse geben, um zukünftige Anwendungsgebiete des Zellulose-Kleber-Verbundes ausloten zu können.

Projektverlauf:

- Ermittlung des Standes der Technik und Patentrecherche
- Materialentwicklung und Eigenschaftenmodifizierung gemäß dem Lastenheft
- Verfahrensentwicklung Sprühauftragung und Einblasverfahren
- Finden neuer Verarbeitungsansätze, Potenzialbewertung und Praxistests

Im Laufe des Projektes wurden Schmelzkleber ausgewählt, die für die Anwendung mit Zellulosefaser optimal sind. Es wurden verschiedene Sprühaufsätze getestet, wobei erkannt wurde, dass ein vertikales Aufsprühen aufgrund der geringen Festigkeit von wasserfrei verarbeiteter Zellulose nicht möglich ist. Mehrere Versuche für ein Einblasen eines homogenen Zellulose-Kleber Verbunds in liegende Hohlräume wurden durchgeführt. Die erzielten Ergebnisse stehen dem Projektpartner aus der Baustoffindustrie für eine nachfolgende Verwertung zur Verfügung. In einem professionell geleiteten Kreativworkshop wurden in einem Team aus Experten und unbeteiligten Personen neue Lösungswege für die Verarbeitung von Zellulose als Dämmstoff gefunden. Die neuen Ansätze wurden in ersten Versuchen getestet und werden auch nach Projektende noch für die Weiterentwicklung der Zellulose als Dämmstoff herangezogen werden.

Abstract

Using modern, highly efficient insulating materials prohibits thermal radiation and therefore saves energy. Especially renovating older buildings inheres great potential and exhibits market demands for new, efficient and first of all easy-to-use and even ecological insulating methods.

Main target in this project is the development of a cellulose compound based on thermoplastic hot melts (including biobased grades), which is waterfree and processable in spray-on technology as an on-site and factory solution for potential use as a biobased and sustainable insulation material in construction. The novel access to use thermoplastic hot melts in cellulose compounds gives new perspectives for cellulose in innovative material for future insulation applications.

In this project first an intense screening period of different cellulose-hot melt systems will sort out a selection of potential candidates for the spray-on tests and for blowing-in tests (blowing cellulose into cavities) in new developed prototypes followed by a subsequent optimization of the recipes based on the spray-on and blowing-in tests. Finally a potential evaluation and practice tests of the cellulose-hot melt compound will give information about potential industrial interest and will give insight to future applications.

Project line:

- Evaluation of the state of the art and patent situation
- Material development and modification according to the specifications of the partners
- Process development of a prototype for spray technology and blowing-in technology
- Detect new processing technologies; potential evaluation and practice tests

Within the project hot melt adhesives were selected, that are suitable for different applications with cellulose fibres. Different spraying nozzles were tested, whereat it was found, that a vertical application of water free processed cellulose is impossible due to the low cohesiveness of the cellulose-adhesive-composite. Several experiments were done where cellulose-adhesive-composite was blown into horizontal cavities. The gained conclusions can be used and adopted in different applications from the project partners working in the cellulose industry. Near the end of the project a professional lead workshop was held to find new ways for processing cellulose as insulating material. The team consisted of experts and uninvolved members to gain new ideas from different perspectives. Some of the ideas were already tested and will be further developed after the project to advance the potential of cellulose fibres as an insulating material.

1 Einleitung

Ressourcenschonung, Energieeffizienz und nachhaltiges Wirtschaften sind Kriterien, die heute von der EU und allen Mitgliedsstaaten immer stärker erfüllt werden müssen. Im Bereich der Gebäudedämmung kann ein bedeutender Beitrag hierzu geleistet werden. Durch den Einsatz moderner, hochwirksamer Dämmungen kann das Abstrahlen von Wärme, und somit Energie, verhindert werden. Gerade im Sanieren älterer Gebäude steckt sehr großes Potential und ist das Markterfordernis nach neuen, effizienten und vor allem einfach handhabbaren und dabei ökologischen Dämm-Methoden enorm.

Zellulosefaser ist ein reines Naturprodukt. Gewonnen aus Holzschnitzel, finden die Fasern in erster Linie in der Papier- und Viskosefaserherstellung breite Anwendung. Im Zusammenhang mit dem steigenden Interesse an umweltschonender und energiesparender Bauweise ist Zellulosefaser auch in der Bauindustrie immer beliebter geworden. Dabei wird die Faser als natürlicher Dämmstoff mit herausragenden Eigenschaften eingesetzt. Die einfache Herstellung aus Altpapier und die hervorragenden Dämmwerte machen Zellulosefaser zu einem Baustoff der Zukunft. Der Dämmstoff Zellulose wird vorwiegend mittels Einblastechnologie in Wandhohlräume oder Dachzwischen Sparren eingebracht.

Im Zuge dieses Forschungsprojekts wurde an der weiteren Verbesserung der Zellulosedämmung zur Steigerung der Anwendungsmöglichkeiten gearbeitet. Hauptaufgaben waren dabei die Entwicklung eines geeigneten Klebersystems zur Herstellung eines optimalen Zellulose-Kleberverbunds und die Optimierung bestehender Einblasmaschinen zur Sprühauftragung und zum homogenen Einbringen des Verbundes. Durch den neuartigen Ansatz, thermoplastische Klebersysteme im Verbund mit Zellulosefasern im Sprühverfahren zu verwenden, soll das Anwendungsprofil der Zellulose als innovativer Werkstoff für zukünftige Dämmstoffanwendungen erweitert werden.

Im Folgenden sind die Ergebnisse und Tätigkeiten des Forschungsprojekts zusammengefasst und beschrieben. Im Kapitel 2 werden die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Literatur- und Patentrecherche detailliert dargestellt. Die Versuchsdurchführung und die Versuchsergebnisse aus den Arbeitspaketen sind im Kapitel 3 „Ergebnisse“ zu finden. Dieser Punkt ist zur besseren Orientierung nach den Arbeitspaketen im Projekt gegliedert. In den Schlussfolgerungen in Kapitel 5 werden die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst. Schließlich wird in Kapitel 6 noch ein Ausblick gegeben.

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

2.1 Vorteile von Zellulosedämmung

Hintergrund des Projekts ist das Bestreben die ständige Weiterentwicklung und Erschließung neuer Märkte für die Zellulosedämmung voranzutreiben. Derzeit wird Zellulosedämmung international immer beliebter. Die Zellulosedämmung hat in den USA von allen verwendeten Dämmmaterialien einen Marktanteil von 15% erreicht. In Europa ist der Einsatz des ökologisch unbedenklichen Materials stark steigend, besonders im Bereich der Altbausanierung. Die Vorteile der Zellulosedämmung sind überzeugend:

- Für den Wohnbereich liefert Zellulosedämmung ein besonderes Raumklima. Da Papier in der Lage ist Feuchtigkeit aufzunehmen, können Feuchtigkeitsschwankungen (z.B.: durch Sommer- und Wintermonate) ausgeglichen werden. Der dampfdiffusionsfähige Aufbau sorgt für ein optimales Klima. Neben den herausragenden Dämmwerten besitzt Zellulosefaser auch gute Schallschutzeigenschaften. Die hohe Speicherkapazität bewirkt einen deutlich verzögerten Durchgang eingestrahelter Sonnenwärme, was einen hervorragenden Hitzeschutz gewährleistet.
- Ein weiterer Vorteil ist die einfache Aufbringung bei der eine gleichmäßige, lückenlose Dämmfläche entsteht. Durch den Transport der Flocke über Luft, werden alle undichten Stellen nach und nach gründlich mit dem Dämmmaterial verschlossen. Alle Winkel, Ecken und Aussparungen werden dabei bestmöglich umfüllt. Die Verarbeitung erfolgt verschnitt- und fugenfrei und überschüssiges Material kann einfach aufgesaugt und erneut verwendet werden.
- Die einfache Aufbringung durch Einblasen oder Aufsprühen eignet sich besonders zur nachträglichen Dämmung von älteren Bauwerken. Die Montage des Dämmstoffs erfolgt sehr rasch, wodurch es zu keinen Lagerungsproblemen auf der Baustelle kommt. Dasselbe Material kann für alle Anwendungen und Dämmstärken verwendet werden und ist so besonders vielseitig.
- Durch die einfache Herstellung aus einem günstigen Rohstoff ist Zellulosedämmung wirtschaftlich herausragend. Zellulosedämmstoff ist ein reines Recyclingprodukt aus nachwachsenden Rohstoffen. Bei der Herstellung wird viel weniger Energie benötigt, als bei der Herstellung mineralischer Dämmstoffe. Der Primärenergieeinsatz beträgt nur ein Sechstel im Vergleich zu Polystyrol und ein Drittel im Vergleich zur Glasfaser. Da Zellulose ein reines Naturprodukt ist, kann es auch auf natürlichem Wege abgebaut werden und ist so besonders umweltschonend.

Die Literatur- und Patentrecherche bestätigte, dass Gebäudedämmung mit Zellulose hauptsächlich durch Einblasen der losen Faser in Hohlräume umgesetzt wird. Neuere Verfahrensansätze beschäftigen sich mit dem Aufsprühen eines wässrigen Zellulose-Kleberverbunds, der allerdings längere Trockenzeiten erfordert. In diesem Bereich gibt es auch bereits Patente im amerikanischen Raum.

2.2 Stand der Technik

Im Arbeitspaket 1: „Stand der Technik“ wurde eine umfangreiche Erhebung der verfügbaren Literatur im Bereich Zellulosedämmung durchgeführt. Dabei wurde das Hauptaugenmerk auf die bauphysikalische bzw. bautechnische Anwendung gängiger Verfahren gelegt. Es wurden eine umfangreiche Internetrecherche, eine Literaturrecherche sowie eine Patentrecherche im nationalen und internationalen Bereich durchgeführt.

Die im Rahmen der Internetrecherche gefundenen Links waren sehr weit gestreut. Es wurde deutlich, dass die Zellulosedämmung vor allem in den USA und Kanada bereits jahrzehntelange Tradition hat. Daher konnten dort viele Berichte und Arbeitsanweisungen für die Anwendung von aufgesprühter und eingeblasener Zellulose gefunden werden. Allerdings wird in keinem der gefundenen Betriebe Zellulose wasserfrei aufgesprüht. Die folgende Liste von Internetseiten liefert einen kleinen Auszug der zahlreichen Zellulosehersteller und Verarbeiter, die bei der Recherche gefunden wurden:

- www.spray-on.com: Webseite der International Cellulose Cooperation; Die ICC ist der größte Hersteller und Entwickler von thermischen und akustischen Dämmsystemen auf Zellulosebasis. Die am weitesten verbreiteten Produkte des Unternehmens sind K-13, Sonaspray“fc“ und Celbar, wobei alle drei mittels Sprühauftragung installiert werden. Ob und wie viel Feuchtigkeit in den Systemen enthalten ist, konnte aus den Beschreibungen und Spezifikationen nicht herausgelesen werden. Auch über die notwendige Apparatur wird auf der Seite kein Hinweis gegeben. Im Zuge der Patentrecherche konnte allerdings festgestellt werden, dass ICC mit Wasserbasierten Systemen arbeitet.
- www.cellulose.org: CIMA (Cellulose Insulation Manufacturers Association); Zahlreiche Informationen für Private und Unternehmer über die Vorteile, Spezifikationen und Aufbringung von Zellulosedämmung. Zu finden sind auch einige rechtliche Standards und Normen zum richtigen Dämmen. Die meisten gefundenen Hersteller für Zellulosefaser berufen sich auf die CIMA Installationsanweisungen. Weiters hat die CIMA die Kampagne „Greenest of the Green“ gegründet, bei der es um die Verbreitung und Vermarktung von Zellulosedämmung geht.
- www.bondedlogic.com: Hersteller von Naturfaserdämmsystemen. Neben Zellulose für das Aufsprühverfahren werden auch Baumwollmatten zur Dämmung hergestellt. Für die Installation wird unter anderem auf die Anweisung der CIMA „Standard Practise for the Installation of Sprayed Cellulosic Wall Cavity Insulation“ verwiesen. Die Bonded Logic Inc. ist Mitglied des U.S. Green Building Councils, welches die sogenannten LEED Credits (Leadership in Energy and Environmental Design) zur Bewertung von umweltfreundlichen Bauprojekten vergibt.
- www.championinsulation.com: Champion cellulose fibre insulation. Mitglied der CIMA. Anbieter für „Blown-In“ und „Spray-On“ Zellulose, jedoch nicht wasserfrei. Auf der Internetseite sind viele Tipps und Dämmeigenschaften zur Zellulosedämmung zu finden.
- www.advancedinsulationinc.com: Anbieter für Zellulosedämmung von der Materialauswahl bis zur Installation. Auf der Seite ist viel Grundsätzliches zum Thema Dämmung zu finden. Auch über die Bewertung und Kontrolle der eingesetzten Isolierung gibt es Informationen. Weiters ist

eine Gegenüberstellung der verschiedenen Dämmmaterialien zu finden. Der Artikel „Insulating with Spray-Cellulose“ stammt vom Gründer dieser Firma.

- www.sprayinsulationinc.com: Hauptprodukt ist NuWool Premium Zellulose welche laut Hersteller schon seit mehr als 60 Jahren zur Dämmung eingesetzt wird. Auf der Homepage wird detailliert über die Vorteile von Zellulosedämmung eingegangen. Die Installation erfolgt wieder mittels Nass- oder Dampfsprühverfahren. Für die Trocknungszeit nach dem Aufbringen wird eine Mindestdauer von 24 Stunden empfohlen.

Eine Patentrecherche zu (sprühbaren) wasserfreien Bindsystemen für Zellulose-Dämmstoffe wurde an einen externen Dienstleister (Fa. KTI, Klemens Tremel Innovation) vergeben, und anhand einer folgenden stichprobenartigen Eigenrecherche verifiziert und auf Vollständigkeit geprüft. Es wurden die Datenbanken Depatisnet und Espacenet nach Suchworten, wie Zellulose, Dämmung, Isolierung, Altpapier, wasserfrei, cellulose, insulation, paper, spraying, auf Deutsch und Englisch durchsucht.

Ebenso wurden die Patentklassen F16L 59/02 und 04, sowie E04B 1/62 und E04C 2/26 schwerpunktmäßig durchsucht. Im Rahmen dieser Recherche wurden 42 Patente aufgefunden. Die Auswertung der Patente zeigte, dass das Forschungsprojekt eine Novität dahingehend darstellt, dass die bisher im Einsatz befindlichen Verfahren zur Sprühauftragung von Cellulose allesamt auf wasserbasierenden Systemen aufbauen. Die Patentrecherche lieferte also ein ähnliches Ergebnis wie die Internet- und Literaturrecherche. Die relevanten Patente (hauptsächlich aus den USA) behandeln die Anwendung feuchter Zellulose mit Polyvinylacetat.

3 Ergebnisse

3.1 AP1: Literatur- und Patentrecherche

Mit Hilfe der gefundenen Erkenntnisse aus der Recherche wurde das Pflichtenheft für den thermoplastischen Klebstoff bzw. das Verbundsystem erstellt (siehe Abbildung 1).

Pflichtenheft

Kleber:

Nr.	Anforderungen	Wichtigkeit		Sollwert / Norm
Physikalische/chemische Eigenschaften				
1	Geringe Viskosität bei Verarbeitungstemperatur	A		< 1.000 mPas
2	Geringer Eigengeruch		B	
3	Niedrige Schmelztemperatur	A		< 140°C
4	Anfangs-Klebrigkeit (Tack) hoch	A		
5	Aushärtezeit möglichst kurz	A		< 24 h
6	Aushärten bei Umgebungsbedingungen	A		
7	Gute UV-Beständigkeit		C	
8	Lange Lagerfähigkeit		C	> 6 Monate
9	Toxikologisch unbedenklich	A		
10	Biologisch abbaubar		B	
11	Temperaturbeständig nach Aushärten	A		-30 bis +90°C
12	Geringe Feuchteempfindlichkeit der Endeigenschaften	A		
13	Langzeitbeständig gegen Feuchtigkeit, Temperaturschwankungen, Schimmelbefall ...	A		
14	Geringe Dichte		C	
15	Nicht entzündbar/brennbar	A		Darf Brandklasse der Cellulose-Faser (B-s2,d0 nach EN 13501-1) nicht verschlechtern
16	Zu verarbeiten mit zu entwickelnder Sprühanlage (z.B. Anlage leicht zu reinigen)	A		
17	Haftung auf unterschiedlichen Untergründen (Mauerwerk, Holz, Beton, Blech, Kunststoff)	A		
Wirtschaftliche Eigenschaften				
18	Preisgünstig		B	
19	Schnelle Liefermöglichkeit		C	
20	Gleichbleibende Lieferqualität	A		
21	Langfristige Lieferbarkeit	A		

Kleber/Cellulose-Verbund:

Nr.	Anforderungen	Wichtigkeit		Sollwert / Norm
bauphysikalische / mechanische Eigenschaften				
1	Diffusionsoffen	A		EN 12086
2	Kapillaraktiv	A		
3	Dampfdicht	A		
4	Geschlossenzellig	A		
5	Schichtdicke	A		> 5 cm
6	Druckfestigkeit	A		EN 826
7	Scherfestigkeit	A		
8	Setzungssicherheit	A		
9	Auftrag von Putzschicht muss möglich sein	A		
Dämmeigenschaften				
10	Geringe Wärmeleitfähigkeit λ	A		$\lambda < 0,040$
Brandschutztechnische Eigenschaften				
11	Brandklasse	A		Brandklasse B-s2,d0 nach EN 13501-1

A: sehr wichtig B: minder wichtig C: kann vernachlässigt werden

Abbildung 1: Pflichtenheft Kleber und Verbund.

3.2 AP2: Materialentwicklung und Eigenschaftsmatrix

Ziel des Arbeitspakets 2 war die Rezepturentwicklung eines Zellulose-Kleber Verbundes, dessen Eigenschaftsmodifizierung und die Verarbeitbarkeit des Verbundes (in AP3). Es sollte ein geeignetes Klebersystem gefunden werden, welches mittels Sprühauftragung eine Vernetzung der Fasern unter Beibehaltung der Zelluloseeigenschaften ermöglicht. Zu Beginn des Arbeitspakets wurden verschiedene Thermoplast-Systeme mit Zellulosefasern charakterisiert.

Es wurden Polyolefine (Polypropylen und Polyethylen), weiters Polyamid-basierende Systeme sowie auch Polyurethanbasierende Systeme untersucht. Nachfolgend sind einige Ergebnisse des Screening zu sehen (Abbildung 2 bis Abbildung 5). Bei dem Material HJ320MO handelt es sich um ein leicht fließendes PP-Homopolymer, bei SD233CF um ein PP-Random-Copolymer, bei MG9601 um ein HDPE und bei Macromelt OM641 um eine Polyamid-Klebertype.

Die hier charakterisierten Material-Verbunde wurden am Compounder hergestellt und mittels Spritzguss zu Probekörpern verarbeitet. Diese Vorgangsweise war für die Polyurethanbasierten Systeme nicht möglich, da diese lediglich mit speziellen Anlagen verarbeitet werden können, da es sich hierbei um vernetzende Systeme handelt. Auch für noch höhere Zelluloseanteile konnte die Charakterisierung nicht in dieser Form durchgeführt werden, da eine Probenherstellung ohne die in AP3 zu entwickelnde Anlage nicht möglich ist.

In den Diagrammen ist für die Macromelt-Type lediglich der Wert von 30% Zellulose-Anteil dargestellt. Es war hier nicht möglich mit dem bestehenden Equipment die anderen Konzentrationen herzustellen, da beim Compoundieren die Herstellung von verspritzbarem Granulat nicht gelang. Es wurden auch andere PA-Systeme (Macromelts) untersucht. Bei den anderen Typen war aber zum Teil die Matrix zu weich und zum Teil ließen sich die beiden Komponenten nicht ausreichend mischen.

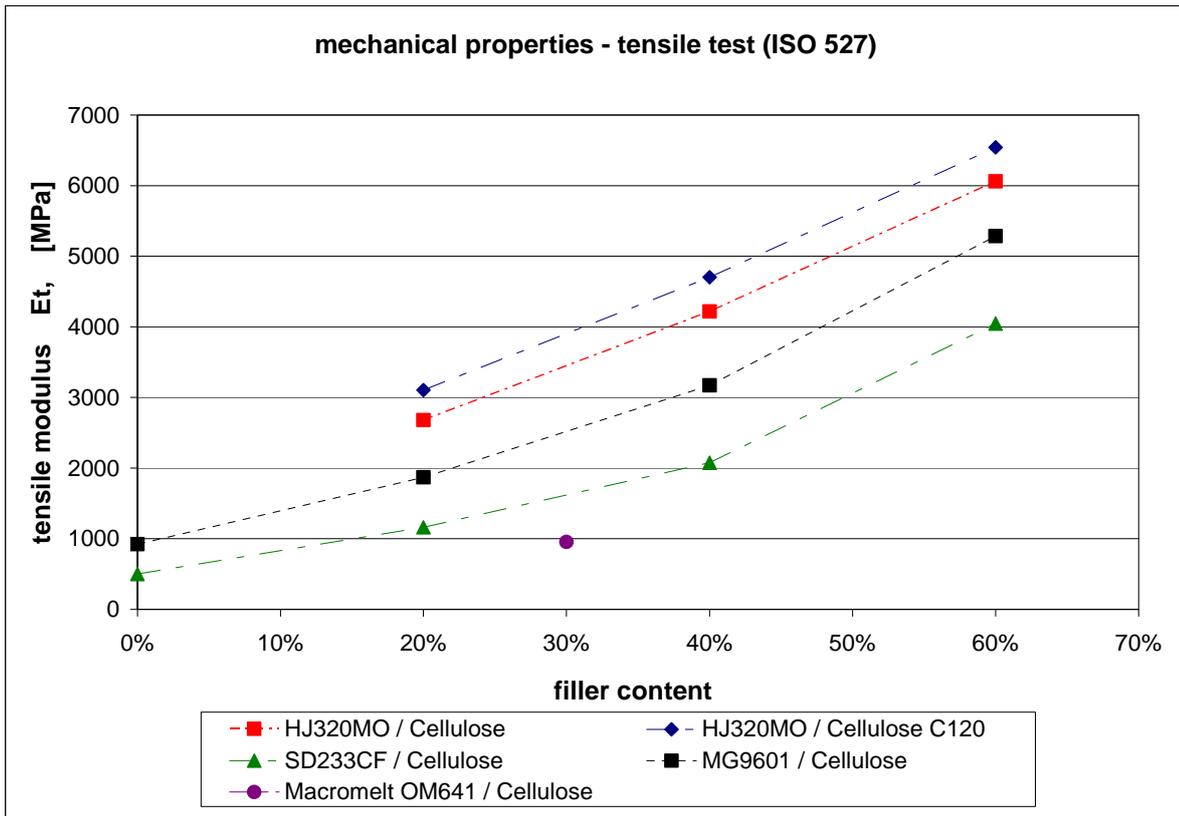


Abbildung 2: Mechanische Eigenschaften der Zelluloseverbunde; E-Modul in Abhängigkeit des Zellulose-Anteils.

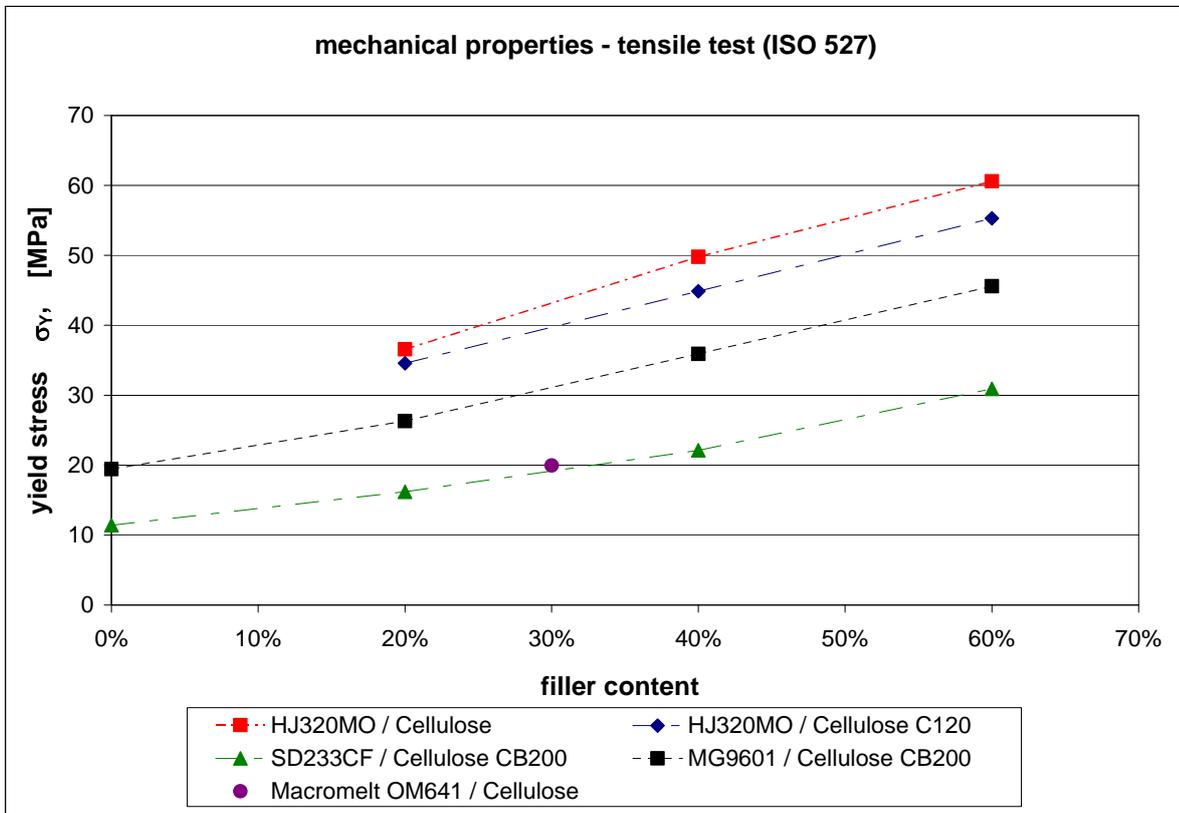


Abbildung 3: Mechanische Eigenschaften der Zelluloseverbunde; Zugfestigkeit in Abhängigkeit des Zellulose-Anteils.

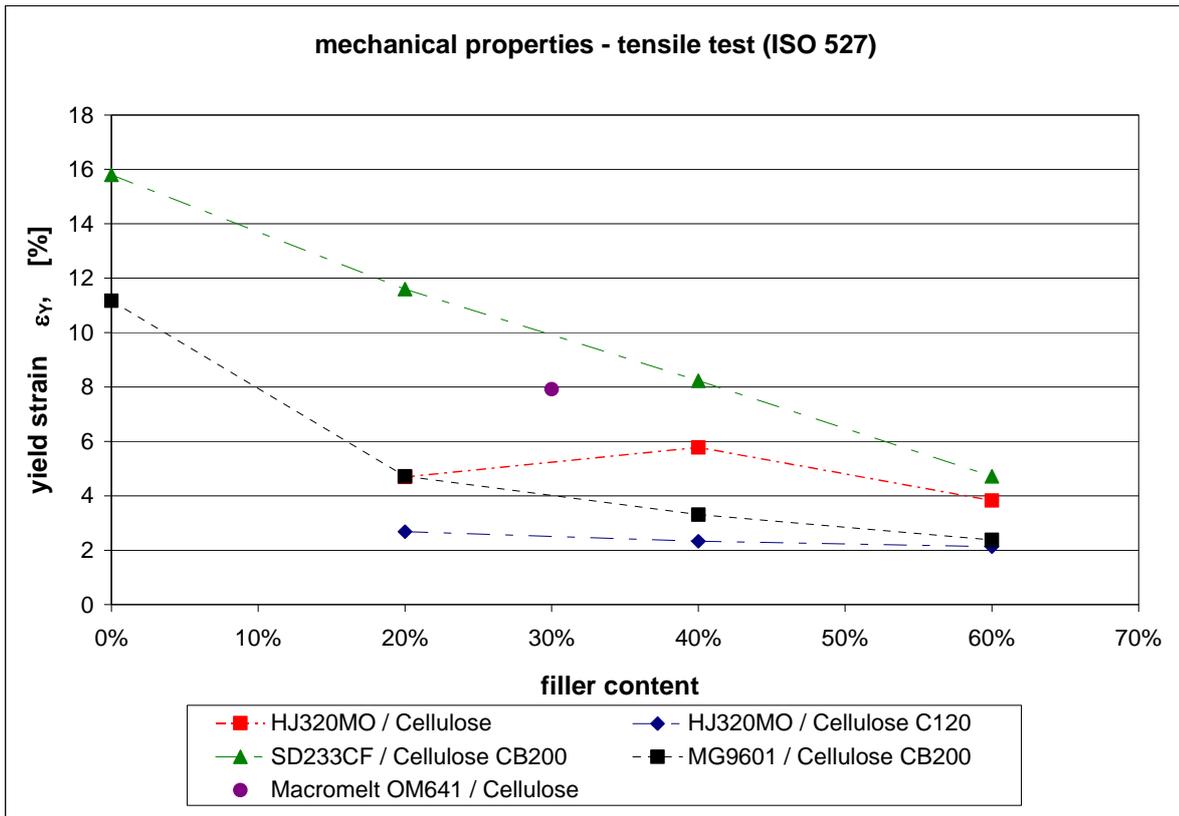


Abbildung 4: Mechanische Eigenschaften der Zelluloseverbunde; Dehnung bei Zugfestigkeit in Abhängigkeit des Zellulose-Anteils.

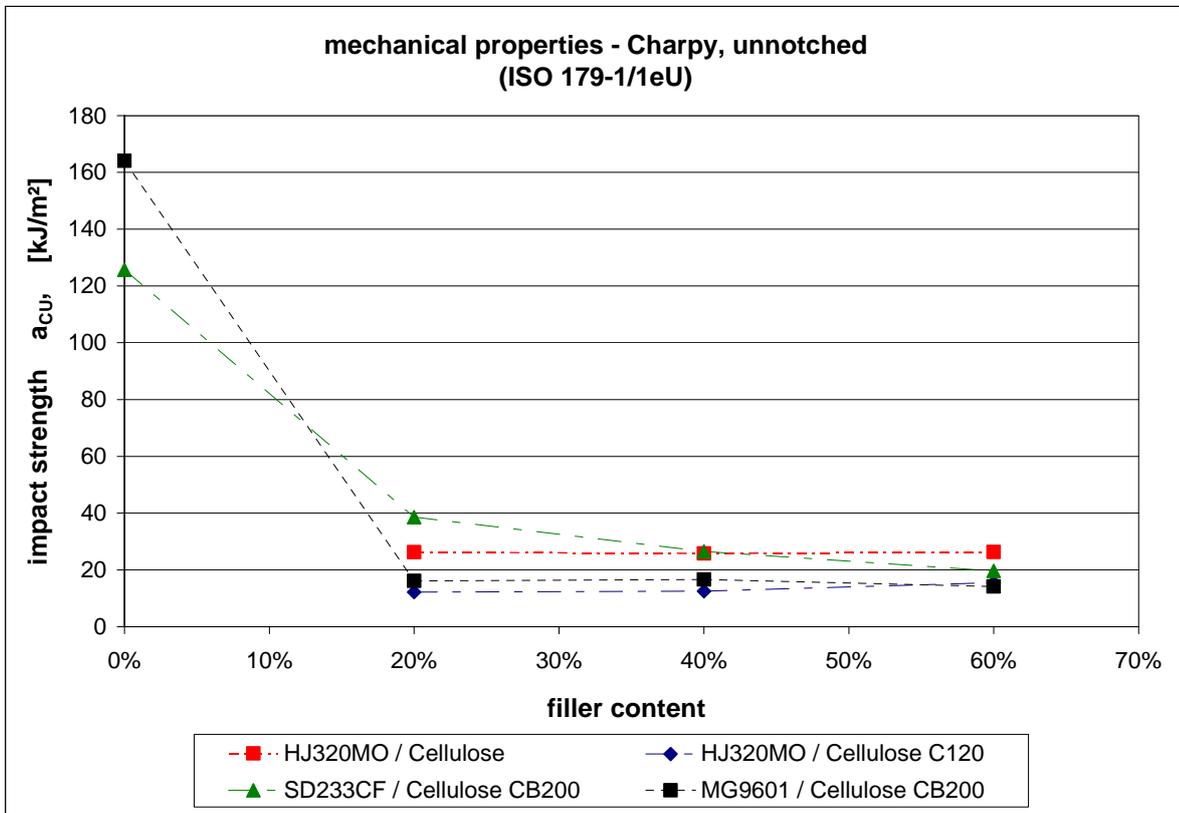


Abbildung 5: Mechanische Eigenschaften der Zelluloseverbunde; Schlagzähigkeit in Abhängigkeit des Zellulose-Anteils.

In Abbildung 2, ist zu sehen, dass der E-Modul mit steigendem Zelluloseanteil steigt, wobei die unterschiedlichen Mischungen beinahe parallel verschoben zueinander liegen. Das Ausgangsniveau ist abhängig von den Grundeigenschaften des Thermoplastes. Abbildung 3 zeigt ein sehr ähnliches Bild für die Zugfestigkeit. Auch hier steigen die Werte mit zunehmendem Füllstoffgehalt und starten bei unterschiedlichen Ausgangswerten. Die höchsten Festigkeiten (wie auch Steifigkeiten) weisen die Homo-PP- sowie die HDPE-Mischungen auf, gefolgt von den Random-PP-Mischungen. Die Macromelt-Type liegt etwa auf dem Niveau des Random-PP.

Die Darstellung der Dehnung bei Zugfestigkeit in Abhängigkeit des Zellulose-Anteils, siehe Abbildung 4, gibt ein Maß für die Zähigkeit der Materialverbunde. Hier kehren sich die Verhältnisse um. Mit steigendem Gehalt an Zellulose sinken die Werte oder bleiben auf einem niedrigen Anfangsniveau. Die höchsten Werte erreichen hier das Random-PP, sowie die Polyamid-Type.

In Abbildung 5 ist die Schlagfestigkeit der Materialverbunde dargestellt. Sie ist ein Maß für die Zähigkeit eines Materials bei schlagender Beanspruchung. Die Kurvenverläufe sind ähnlich jenen in Abbildung 4, allerdings ist bei schlagender Beanspruchung bereits bei 20% Zelluloseanteil ein unteres Niveau erreicht. Mit steigendem Zellulosegehalt ändern sich die Schlagzähigkeiten nicht mehr.

Beim Screening der verschiedenen thermoplastischen Kleber stellte sich heraus, dass aufgrund relativ hoher Verarbeitungstemperaturen und niedriger Anfangsklebrigkeit thermoplastische Kleber für die geplante Anwendung nicht praktikabel sind. Eine weitere Möglichkeit könnten vernetzende Polyolefinsysteme bieten.

Nach diesen Erkenntnissen wurde nach weiteren Möglichkeiten im Bereich flüssiger oder schmelzfähiger Polyurethan-Kleber gesucht. Diese besitzen bei niedrigen Verarbeitungstemperaturen eine ausreichend geringe Viskosität, um über die Zelluloseflocken gleichmäßig dünn verteilt werden zu können. Es wurden mehrere Versuche mit verschiedenen Schmelzklebern durchgeführt, um die Anforderungen an den Kleber auszutesten. Die genaue Versuchsbeschreibung ist in Kapitel 3.3 angeführt. Bei den Klebersystemen wurden unterschiedliche Typen mit verschiedenen langen Aushärtezeiten, Anfangsklebrigkeiten und Endsteifigkeit getestet. Alternativ wurden auch Versuche mit einem PU-Dispersionskleber und mit Polyolefin basierenden Schmelzklebern (vernetzende Systeme) durchgeführt. Bei diesen Klebern gibt es gegenüber den PU-Hotmelts zwei grundlegende Unterscheidungen in der Verarbeitbarkeit. Die Schmelztemperaturen liegen höher (bei ca. 180°C), allerdings werden an das Equipment geringere Anforderungen gestellt (die PU-Systeme müssen von der Umgebungsluft abgekapselt sein). Letztendlich stellte sich ein Schmelzkleber als gute Lösung für Kleber-Zellulose-Verbunde dar und wurde für alle weiteren Versuche verwendet.

3.3 AP3: Verfahrensentwicklung – Sprühauftragung

Ziel des 3. Arbeitspakets, welches bereits parallel zu AP2 gestartet wurde, war die Entwicklung eines Prototyps zur Sprühauftragung des in AP2 entwickelten Zellulose-Kleber-Verbundes. Es wurden erste Versuche mittels eines einfachen Versuchsaufbaus durchgeführt. Mit Hilfe einer Ejektordüse wurde die Zellulose aus einem Vorlagebehälter an die Wand geblasen. Gleichzeitig wurde mit einer Aufschmelzeinheit über eine Düse der Kleber direkt an der Wand manuell zudosiert. Es entstand ein Zellulose-Kleber-Verbund mit geringer Dichte, der jedoch trotz relativ hohem Kleberanteil von etwa 9% keine ausreichende Stabilität zur Haftung an der Wand besaß. Bereits durch die Förderluft des Zellulosestroms wurde der Verbund wieder teilweise von der Wand abgetragen (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Sprühbild des Zellulose-Kleber-Verbunds bei den ersten Versuchen.

Ein weiteres Problem stellte die Inhomogenität des Verbundes durch die manuelle Zufuhr von Zellulose und Kleber dar. Daher wurde eine Sprühdüse entwickelt, welche am Ende eines Förderschlauchs die Zellulosefaser gleichmäßig verteilt und direkt nach Austritt der Faser den Kleber in den Zellulosestrom sprüht (siehe Abbildung 7).

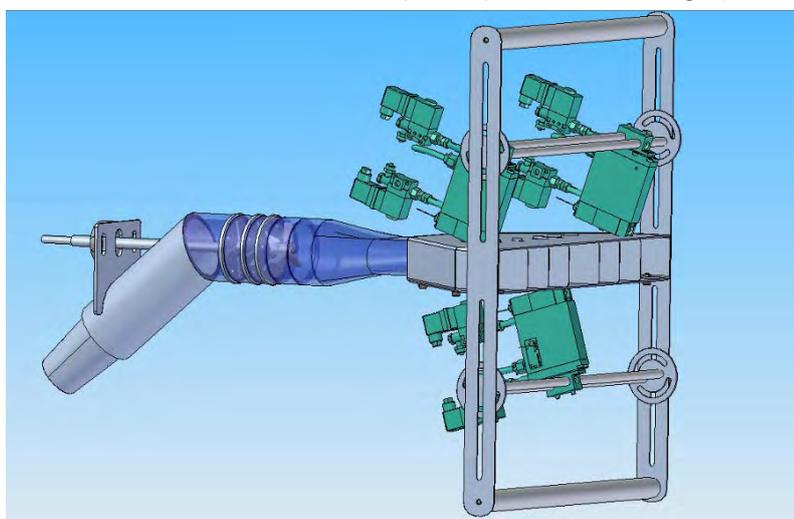


Abbildung 7: Sprühdüse zur Applikation von Zellulose und Kleber.

Parallel zur Entwicklung der Sprühdüse wurden an der Einblasmaschine „Isoblow Standard Plus“ der Firma Isocell, welche bei den Sprühversuchen zur Bereitstellung der Zellulose verwendet wurde, Versuche zur Charakterisierung der Einstellungen durchgeführt. Die „Isoblow Standard plus“ ist eine sehr leistungsfähige Einblasmaschine zur Einbringung von Zellulosedämmstoff in Wandzwischenräume. Die Beschickung erfolgt über eine Einfüllklappe, die mitsamt dem Aufsatz für den Transport abgenommen werden kann. Die Bedienung sowie die Regelung der Luftmenge erfolgt über eine Funkfernsteuerung oder direkt am Gerät. Unterhalb der Auflockerungseinheit befindet sich eine Zellenradschleuse, die die aufgelockerte Zellulosefaser in den Förderluftstrom dosiert. Über einen Schieber kann man die zudosierte Menge einstellen. Ermittelt wurden der Massenstrom und die erzielte Schüttdichte bei verschiedenen Schieberstellungen (siehe Abbildung 8). Verwendet wurden dabei die für die Versuche relevanteren niedrigen Schieberstellungen (entspricht geringerem Durchsatz).

Es ist allerdings zu beachten, dass der Massenstrom auch vom Zustand der Flocken im Vorratsbehälter abhängig ist. Wenn das Material bereits sehr aufgelockert ist, fällt weniger in die unter dem Vorlagebehälter befindliche Zellenradschleuse und es kann weniger befördert werden. Generell ist für den gezielten Einsatz der Einblasmaschine viel Erfahrung notwendig, was durch die Versuche zur Charakterisierung erreicht wurde. Für alle nachfolgenden Versuche wurde die Einblasmaschine „Isoblow Standard plus“ in Verbindung mit einem 15m langen Spiralschlauch (zur Verfügung gestellt von der Firma Isocell) verwendet. Anhand der gewonnenen Ergebnisse konnten bei den späteren Versuchen die Maschinenparameter optimal eingestellt werden.

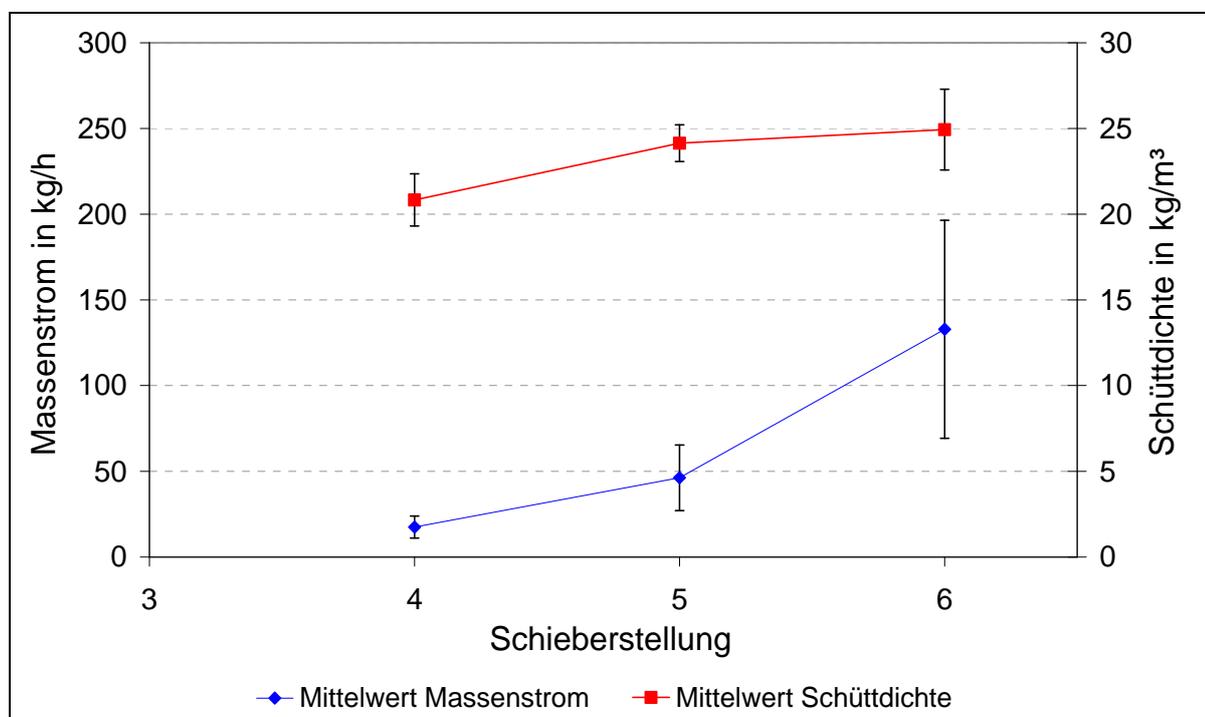


Abbildung 8: Charakterisierung der Einblasmaschine „Isoblow Standard Plus“.

Erste Versuche mit der neuen Sprühdüse wurden ohne Kleber-Zudosierung durchgeführt um den Einfluss der Sprühdüse auf den Faserstrom zu ermitteln. Die Sprühdüse (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10) wurde an die „Isoblow Standard plus“, an das Ende eines 15m langen Spiralschlauchs montiert. Mittels der Einblasmachine wurde die Zellulosefaser aufgelockert und pneumatisch durch den Schlauch zur Düse befördert. Durch die eingebauten Propeller wurde die Faser zusätzlich aufgelockert und es entstand ein gleichmäßiger Zellulosestrahl. Ein bei den Einblasmachines typischer pulsierender Austrag (bedingt durch die Zellenradschleuse) kann mit der Düse unterbunden werden. Beim Austrag der Zellulosefaser auf eine waagrechte offene Fläche entstand bei mäßiger Staubeentwicklung ein gleichmäßiger Fasernteppich.



Abbildung 9: Sprühdüse mit Propeller in der Zuführung zur gleichmäßigen Verteilung der Zellulosefaser vor der Kleberzudosierung.



Abbildung 10: Leitschaufeln in der Sprühdüse um den Zellulosestrom über die gesamte Breite gleichmäßig zu verteilen.

Der nächste Versuch erfolgte in eine rechteckige, liegende Holzkonstruktion bei der 3 Seiten durch etwa 15cm hohe Holzbretter abgedeckt waren. Beim Starten dieses Versuchsaufbaus wurde ein Großteil der Zellulosefaser wieder aus der Form ausgeblasen, da die Förderluft seitlich nicht entweichen konnte und so die bereits aufgebrachte Zellulosefaser wieder in Bewegung versetzte. Es wurde deutlich, dass der Fasertransport mit hochenergetischer Förderluft für die Applikation eines Zellulose-Kleber-Verbunds kritisch ist. Um das Wegblasen der aufgebrachten Zellulosefaser zu verhindern, wurde bei den nächsten Versuchen die Kleberzufuhr getestet. Dafür wurde ein PU-Hotmelt Kleber, siehe AP2, verwendet. Eine passende Aufschmelzeinheit zur Verarbeitung des Klebers wurde von der Firma Robatec bereit gestellt. Bei den Versuchen wurde die oben beschriebene Aufsprüheinheit soweit adaptiert, dass die Kleberzufuhr an drei Stellen direkt beim Zelluloseaustrag erfolgt (siehe Abbildung 11). Dabei waren die Düsen verstellbar und wurden genau ausgerichtet, sodass der Kleber direkt in den Zellulosestrom gesprüht wurde.

Obwohl die Zellulosezufuhr so gering als möglich und der Kleberanteil möglichst hoch eingestellt wurden, wurde der Kleber-Zelluloseverbund durch den austretenden Luftstrom erneut weggeblasen. Die geringe Masse der Fasern verhindert beim Aufprall auf die Fläche die Verdichtung, die notwendig ist, um ausreichend Kontaktstellen zwischen Kleber und Fasern und somit eine gute Stabilität zu erzeugen. Um die Masse der Fasern zu erhöhen, wurde eine geringe Menge Wasser über die Zelluloseförderung zugegeben und ein weiterer Versuch durchgeführt.

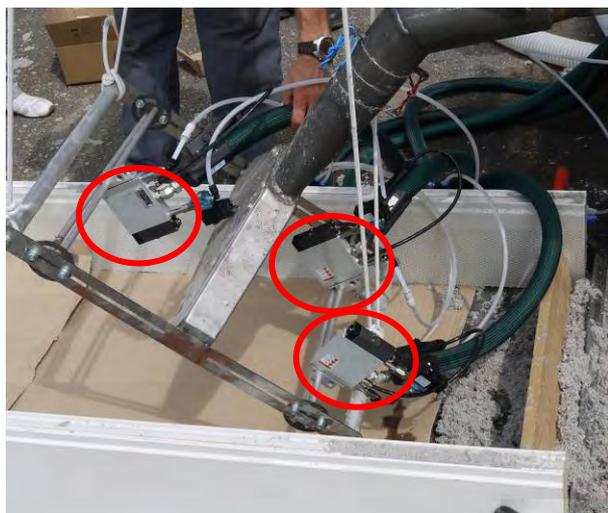


Abbildung 11: Adaptierte Einblaseinheit mit Sprühdüsen für Heißkleberzufuhr.



Abbildung 12: Versuchsaufbau bei den Sprühversuchen mit Kleber und Wasserzudosierung.

Wie in Abbildung 12 zu sehen ist, kam es auch bei diesen Versuchen mit Kleber- und Wasserzufuhr zu einer sehr hohen Staubentwicklung, was für eine Anwendung auf der Baustelle nicht praktikabel ist. Das entstandene Kleber-Zellulosegemisch bildete nur an einzelnen Stellen zusammenhaftende Klumpen und stellte noch kein befriedigendes Ergebnis dar. Dazu kommt die Problematik, dass der Verbund bereits beim horizontalen Auftragen relativ instabil ist, wodurch ein vertikales Auftragen generell als nicht umsetzbar erscheint. Der Zusammenhalt und die Stabilität des Faser-Kleber-Verbundes sind zu gering, um das eigene Gewicht zu tragen und höhere Schichtdicken zu erzeugen. Nach diesen Erkenntnissen wurde nach Abstimmung im Konsortium bei der Förderstelle eine Änderung des Projektziels in Übereinstimmung mit den derzeitigen Marktanforderungen beantragt und genehmigt. Neues Ziel war das homogene Einbringen eines Zellulose-Kleber-Gemisches in horizontal liegende Hohlräume (Gefache von Fertigteilhauswänden), wobei durch den Kleber das spätere Absinken der Dämmschicht nach dem Aufrichten und Transport der Hohlräume verhindert werden soll. Dieses Absinken der Dämmschicht ist nach derzeitigem Stand der Technik erst ab einer bestimmten Dichte und somit Gewicht der eingebrachten Zellulosefasern zu unterbinden. Für die Versuche wurden die bereits erfolgreich getesteten Heißkleber (PU Hotmelt), sowie ein PU Dispersionskleber und Polyolefin basierende Schmelzkleber, siehe AP2, verwendet.

Für die neue Ausrichtung des Projekts wurde eine neuartige Zelluloseschleuder entwickelt, um eine gleichmäßige Verteilung des Klebers im Zellulosestrom, sowie des fertigen Gemisches in der Kavität zu gewährleisten (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14). Um die Versuche besser

überwachen zu können, wurde eine spezielle Versuchskiste gebaut, wobei durch die seitlichen Sichtfenster der Füllprozess gut zu beobachten ist (siehe Abbildung 15).

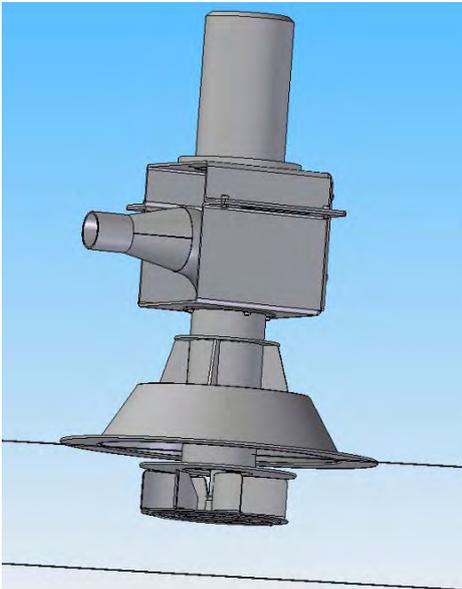


Abbildung 13: Konstruktionszeichnung der Zelloseschleuder.



Abbildung 14: Fertige Schleudereinheit zur besseren Verteilung der Zellulose in der Versuchskiste.



Abbildung 15: Versuchskiste mit Sichtfenster zur Beobachtung des Füllprozesses.

Mit diesem Versuchsaufbau wurden zuerst Versuche zur Charakterisierung des Füllverhaltens mit der Zelloseschleuder durchgeführt. Dabei wurde schnell festgestellt, dass die Bewegungsenergie der Zellulosefaser sehr schnell nach Austritt aus der Schleuder vollständig verloren geht und die Faser kurz nach der Öffnung in der Mitte der Kiste liegen bleibt. Erst durch die nachströmende Faser wird das Material in die Ränder geschoben und die Form zur Gänze gefüllt. Die Kiste wurde durch seitlich im Deckel angebrachte Vlieseinsätze, durch die die Förderluft austreten kann, weiter verbessert.

Als nächster Schritt wurden Versuche mit der Schleudereinheit und dem bewährten Heißklebersystem sowie einem Dispersionskleber durchgeführt. Für den Schmelzkleber wurde wieder die Aufschmelzanlage der Firma Robatec verwendet. In Abbildung 16 ist der Versuchsaufbau dargestellt. Es zeigte sich, dass durch die Kleberzugabe ein fadenartiges Geflecht aus Zellulosefaser entsteht, dass sich bereits kurz nach dem Auftragen relativ gut verbindet (siehe Abbildung 17).



Abbildung 16: Versuchsaufbau mit der Zelluloseschleuder und den Schmelzkleberdüsen.



Abbildung 17: Ergebnis der Versuche mit Zelluloseschleuder und Schmelzkleber.

Die Versuche mit dem Dispersionskleber sollten mit einer eigenen Sprühdüse mit Druckluftförderung durchgeführt werden. Die feinen Düsenköpfe erwiesen sich allerdings als unpraktikabel da durch den hohen Staubgehalt und die Trockenheit der Luft die Dispersion sehr schnell trocknet und die Düsen dadurch verstopfen. Die besten Ergebnisse wurden mit dem Schmelzkleber erzielt, allerdings konnte keine vollständig homogene Klebverteilung in der Kavität erreicht werden. Mit dem Dispersionskleber wurden zu einem späteren Zeitpunkt noch Versuche mit einfacheren Düsen vorgenommen, die nicht so leicht verstopfen können. Die erzielten Ergebnisse waren allerdings ebenfalls wenig zufriedenstellend. Über die Dispersion wird ein nicht zu vernachlässigender Anteil Wasser eingebracht, was wiederum zu unerwünschten Trocknungszeiten und teils zum Nachsinken des Verbundes während des Trocknens führt.

Nach diesen Versuchen wurde erkannt, dass die gesetzten Ziele bis zum Projektende nicht erreicht werden können und eine kostenneutrale Verlängerung sowie eine Kostenumschichtung beantragt. Da aus den bisherigen Versuchen keine wirkliche Lösung gefunden werden konnte, das Projektkonsortium aber nach wie vor das Potential der Zellulose als Dämmstoff nutzen wollte, wurde mit Hilfe eines Kreativ-Workshops das Thema erneut aufgerollt und in einer größeren Gruppe bearbeitet. Die genauen Inhalte sind im folgenden Punkt erklärt.

3.4 AP4: Potentialbewertung und Praxistest

Ziel des Arbeitspakets 4 war die Herstellung von Musterwänden und die Ermittlung aller relevanten Eigenschaften. Da aus den entwickelten Anlagenkonzepten keine vollständig praxistaugliche Lösung gefunden werden konnte, konnten auch keine Praxistests durchgeführt werden. Nach Absprache im Projektteam und Genehmigung einer Umwidmung der Kosten, wurde das Budget wie

bereits oben beschrieben für einen Workshop zur Ideenfindung für neue Umsetzungsmöglichkeiten und die darauf aufbauenden Arbeiten herangezogen.

Dieses Arbeitspaket konzentrierte sich daher darauf, in einem intensiven Workshop neue Ideen zur Erzeugung einer selbsttragenden Zellulosestruktur zu sammeln und die Umsetzungsmöglichkeiten in der Zukunft zu beleuchten. Für diesen Workshop wurde eine Trainerin zur professionellen Gestaltung und Leitung engagiert und Teilnehmer aus verschiedenen Bereichen eingeladen. Das Konsortium bestand aus Mitarbeitern der Firma Isocell, CPH, Hammerschmid und TCKT sowie aus bisher unbeteiligten Personen aus externen Firmen. Frau Ursula Flink hat als professioneller Kreativitäts-Coach das Thema aufgearbeitet und verschiedene Kreativitätsmethoden (unter anderem nach TRIZ) vorbereitet.

Das zweitägige Seminar fand in einem Seminarhotel in Schlierbach statt. Der erste Tag wurde damit verbracht, alle Teilnehmer auf den gleichen Wissensstand zu bringen und die Projekthistorie aufzurollen. Erarbeitete Themen und erste Ideen wurden auf Flipcharts festgehalten (siehe Abbildung 18). Dabei wurden mit Hilfe moderner Kreativitätstechniken neuartige Ansätze und Möglichkeiten gefunden. Die vielfältigen Lösungsvorschläge wurden am 2. Tag ebenfalls im Team diskutiert und auf ihre Machbarkeit überprüft. Am Ende des Workshops wurden konkret fünf Möglichkeiten zur weiteren Vorgehensweise und für neue Versuche zusammengefasst (siehe Abbildung 19).



Abbildung 18: Flipcharts aus dem Kreativworkshop. Links: Skizze des Zellulose-Klebersystems. Mitte: Zusammenfassende Charakterisierung des Bindemittels. Rechts: Erste Ideensammlung

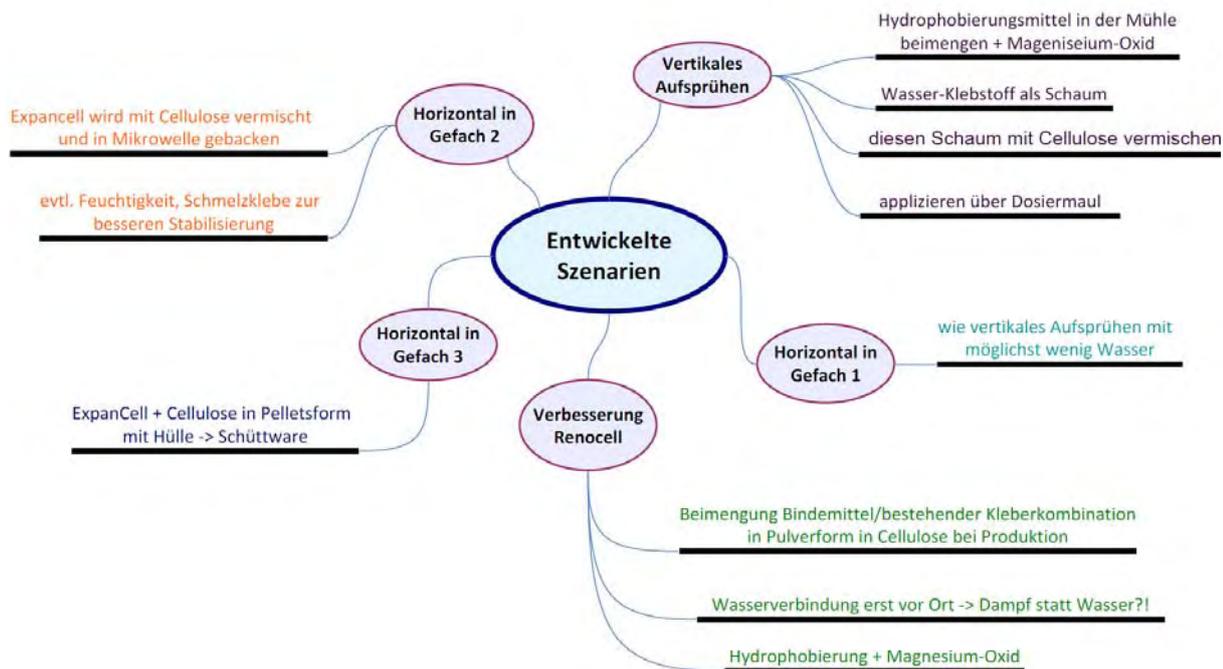


Abbildung 19: Zusammenfassendes Mindmap der gefunden Lösungsvorschläge und Versuchsmöglichkeiten.

Die gewonnenen Ideen wurden nach dem Workshop in verschiedenen Versuchen umgesetzt. Beim Projektpartner CPH wurden in der verbliebenen Projektlaufzeit noch mehrere Versuche durchgeführt, konkret wurde die Verbesserung des bestehenden Systems weiter verfolgt. Dabei wurden Versuche mit Hydrophobierungsmittel und Magnesium-Oxid-Zusätzen durchgeführt. Es stellte sich allerdings heraus, dass die Zusätze nicht die erhoffte Lösung bringen, da zum Einen die Wirkungsweise zu langsam ist bzw. zum Anderen die Menge an einzusetzendem Material in den herkömmlichen Prozess bei CPH nicht zu integrieren ist. Vorversuche mit neuen aufgeschäumten Materialien in Kombination mit der Zellulose waren hingegen sehr vielversprechend. Hier werden auch nach Projektende noch Upscaling-Versuche durchgeführt werden.

Bei der Fa. Hammerschmid wurden inzwischen die Versuche mit Expancel und Cellulose durchgeführt. Die Durchwärmung in einer geschlossenen Holzkiste, so wie sich im Hausbau ein bereits beidseitig verschlossenes Gefach darstellen würde, ist problematisch. Im Inneren der Kiste wurde ein Temperatursensor platziert um die Temperatur in Abhängigkeit der Zeit aufzeichnen zu können. Die Zeitspanne bis hier ausreichend hohe Temperaturen für eine Reaktion des Expancel erreicht werden ist für eine industrielle Umsetzung zu hoch, was bedeutet dass die Hitze einbringung über zum Beispiel durchströmende Heißluft verwirklicht werden müsste. Das Potential dieses Lösungsansatzes konnte aber prinzipiell gezeigt werden.

Im TCKT wurden Versuche mit dem reinen Expancel sowie mit expandierfähigem Polystyrol durchgeführt. Das Polystyrol eignet sich nicht für den konkreten Anwendungsfall, da die Volumenerhöhung zu gering ausfällt. Die Versuche mit Expancel stellten sich als sehr viel versprechend heraus, da das Material bereits bei relativ niedrigen Temperaturen (ca. 80°C) sein Volumen vervielfacht (siehe Abbildung 20). Die gepresste Platte hält zwar gut zusammen, lässt sich aber mit geringem Druck leicht zerbröseln. Für eine eventuelle spätere Anwendung ist eine zusätzliche Kleberzugabe empfehlenswert.



Abbildung 20: Versuche mit reinem Expancel in der Heizpresse. Links: Ausgangszustand bei Raumtemperatur. Mitte: Material bis 80°C erwärmt. Rechts: Material bis 90°C erwärmt.

Als vielversprechend erwiesen sich also zwei, der in Vorversuchen erprobten, Lösungsansätze. Zum Einen die Beimengung des expandierbaren Pulvers (Expancel), das sich beim Erwärmen ausdehnt und sein Volumen um ein Vielfaches erhöht. Zum Anderen der bei der Firma CPH getestete Kleber welcher, durch Aufschäumen mit einer speziellen Aufschäumeinheit, das bestehende, Wasser basierende, Sprühsystem zur vertikalen Aufbringung auf Wände entscheidend verbessern könnte.

3.5 AP5: Wirtschaftlichkeitsprüfung

Aus den Ergebnissen des AP3 ergaben sich nicht die erhofften Vorteile für eine anwendungstechnische Umsetzung des Anlagenkonzepts. Das große Potential der Zellulosefaser für vielfältige Anwendungsmöglichkeiten wurde erkannt, konnte jedoch im Zuge dieses Projekts nicht umgesetzt werden. Der Aspekt der Wirtschaftlichkeit war bei allen Überlegungen beinhaltet. Da in der Projektlaufzeit kein optimales Verfahren ausgewählt und umgesetzt werden konnte, wurde dieses Arbeitspaket nach interner Absprache und Ansuchen um Änderung bei der Förderstelle gestrichen, und die dafür vorgesehenen Ressourcen in andere Arbeitspakete umgeschichtet.

4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

Nachhaltiges Bauen ist in Hinblick auf Umwelt- und Ressourcenschonung ein wichtiger Schritt. Langfristig ist es erforderlich, den Gebäudebereich vom Energieverbraucher zum Energieerzeuger überzuführen. Dies ist nur in Verbindung mit effizienten Dämmsystemen möglich, die ihrerseits selber Ressourcen schonend und umweltverträglich hergestellt werden können. Die Zellulosedämmung stellt eine wichtige Grundlage für eine ganzheitlich ökonomische Bauweise dar. Gerade im Sanieren älterer Gebäude steckt sehr großes Potential und ist das Markterfordernis nach neuen, effizienten und vor allem einfach handhabbaren und dabei ökologischen Dämm-Methoden enorm. Die vielfältigen Vorteile einer Zellulosedämmung sind Anlass genug die Weiterentwicklung und Verbreitung dieses ökologischen Baustoffs voranzutreiben.

Im Sinne des Forschungsschwerpunkts des Programms „Haus der Zukunft Plus“ wurde im Projekt „CellPor“ eine weitere Verbesserung in Hinblick auf eine nachhaltige Gebäudeentwicklung erreicht. Die Erschließung neuer Marktnischen und Baukonzepte (z.B.: Fertigteilhausesindustrie, Dämmung von Tragkonstruktionen,...) trägt zur verstärkten Anwendung des vielversprechenden Werkstoffs Zellulosefaser bei. Dadurch können wiederum Energiekosten gespart und weniger nachhaltige Dämmstoffe vermieden werden.

Die Entwicklung eines neuartigen Einblasverfahrens eines Zellulose-Kleber-Verbunds liefert die Basis für vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Durch die Mitarbeit einer Produktions- und Vertriebsgesellschaft im Projekt lässt sich eine Weiterentwicklung der erreichten Ergebnisse rasch umsetzen und in zukünftigen Bauvorhaben realisieren.

5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die vielversprechenden Anwendungsmöglichkeiten und das Potential der Zellulosefaser zur Gebäudedämmung waren für alle Projektpartner Motivation für eine produktive und intensive Zusammenarbeit. Im ersten Projektjahr wurden zahlreiche Versuche mit verschiedenen Klebersystemen und Einblasanlagen durchgeführt. Das Projektteam gewann dadurch Erfahrung im Umgang mit Zellulosefaser und wurde bei den Versuchen von der Firma Isocell unterstützt. Allerdings konnte trotz der intensiven Bearbeitung des Themas und der kreativen Einfälle kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Nach vielfältigen Versuchsaufbauten und intensiven Ideenfindungsprozessen musste festgestellt werden, dass ein vertikales Aufsprühen trockener Zellulosefaser mit geringem Kleberanteil nicht möglich ist. Der Fasertransport mit hochenergetischer Förderluft und die geringe Masse der Zellulosefasern verhindern beim Aufprall auf die Wand die Verdichtung die notwendig ist, um ausreichend Kontaktstellen zwischen Kleber und Fasern zu bilden und somit die notwendige Stabilität zu erreichen, um die notwendige Schichtdicke aufzubringen, um anschließend eine Putzschicht halten zu können.

Es konnte allerdings eine Kleberauswahl für das Beimengen zur Zellulosefaser getroffen werden. Für die Anwendung in trockener, staubiger Umgebung zeigte sich der ausgewählte Schmelzkleber als gut geeignet. Eine Kleberbeimengung ist auch in anderen Anwendungsgebieten sinnvoll, um ein Absinken der eingebrachten Zellulosefaser zu verhindern. Aus diesem Grund und um das Potential der Zellulosedämmung in einer andern Marktnische nutzen zu können, wurde eine Neuausrichtung des Projektziels vorgenommen. In Hinblick auf die Fertigteilhaushausindustrie wurde eine Anwendung des Zellulose-Kleber-Gemisch in liegende Wandelementen angedacht. Gespräche mit einem Fertighaushersteller wurden bereits in der Projektlaufzeit geführt und es wurde ein dringender Bedarf festgestellt. Daraufhin wurde weiter an einer homogenen Einbringung der Zellulose und der gleichmäßigen Verteilung von Kleberpartikeln im Gefach gearbeitet.

Die Versuche für die neue Projektausrichtung erforderten erneut einen erhöhten Zeitaufwand und neue Apparate zur homogenen Einbringung der Faser. Obwohl das Projektteam auch hier wieder intensiv zusammenarbeitete und viele Versuche durchführte, konnte in der Projektlaufzeit keine optimale Lösung gefunden werden. Die gewonnenen Erkenntnisse werden allerdings beim Zellulosehersteller CPH und bei der Firma Isocell weiterverwendet und es wird an dem Konzept weitergearbeitet. Wie bereits im Zuge des Projekts erkannt wurde, gibt es für Zellulosefaser vielfältige Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Gebäude- und Schalldämmung und es ist sehr wahrscheinlich, dass die Erkenntnisse und Teilergebnisse des Projekts in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden können. Besonders die Ideen des Kreativworkshops werden für Weiterentwicklungen bei den Firmen CPH und Isocell herangezogen.

6 Ausblick und Empfehlungen

Eine Weiterführung der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit im Bereich der Zelluloseverarbeitung zur Herstellung von Dämmungen wird unbedingt empfohlen. Das Potential der Sprühaufbringung von Zellulosedämmung ist offensichtlich, eine vollständig wasserfreie Auftragung wird jedoch auch in Zukunft nicht möglich sein.

Vor allem zwei der zuletzt angedachten Lösungsansätze erwiesen sich als vielversprechend. Die Beimengung eines expandierbaren Pulvers, das sich beim Erwärmen ausdehnt und sein Volumen um ein Vielfaches erhöht birgt Potential für den Anwendungsfall Gefach (Fertigteilhauswände). Das Aufschäumen spezieller Wasser basierender Kleber mittels einer bei der Firma CPH entwickelten Aufschäumeinheit, könnte es ermöglichen das Sprühsystem zur vertikalen Aufbringung auf Wände entscheidend zu verbessern. Durch eine über das Schäumen deutlich verringerte Wassermenge im Kleber könnten die derzeit hinderlichen langwierigen Trocknungszeiten entsprechend reduziert werden.

Die Technologie „geschäumter Kleber“ könnte bei entsprechend kurzen Trocknungszeiten wiederum auch für den Anwendungsfall Gefach interessant werden. Durch die Kleberzugabe kann ein Absinken der Dämmung verhindert werden bei gleichzeitiger Dämmstoffreduktion. Dies würde einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil darstellen.

Weitere im Ideen-Workshop erarbeitete Konzepte könnten ebenfalls großes Potential aufweisen, so zum Beispiel der Ansatz die Zellulose als granulatförmige Schüttware einzusetzen. Hier scheinen aber der nötige Entwicklungsaufwand und das technische Risiko sehr hoch zu liegen.

Eine Weiterentwicklung der Einblasttechnologie wird bei Firma Isocell und bei der Firma CPH angestrebt. Die im Zuge des Projekts entwickelte Zelluloseschleuder verbleibt daher zu weiteren Forschungszwecken bei der Firma Isocell, wo auch nach Projektende eine Weiterentwicklung stattfinden soll. Die Zusammenstellung des Projektkonsortiums stellte sich als günstig heraus und eine weitere Zusammenarbeit in der Zukunft ist wahrscheinlich.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Pflichtenheft Kleber und Verbund.	12
Abbildung 2: Mechanische Eigenschaften der Zelluloseverbunde; E-Modul in Abhängigkeit des Zellulose-Anteils.....	14
Abbildung 3: Mechanische Eigenschaften der Zelluloseverbunde; Zugfestigkeit in Abhängigkeit des Zellulose-Anteils.....	14
Abbildung 4: Mechanische Eigenschaften der Zelluloseverbunde; Dehnung bei Zugfestigkeit in Abhängigkeit des Zellulose-Anteils.....	15
Abbildung 5: Mechanische Eigenschaften der Zelluloseverbunde; Schlagzähigkeit in Abhängigkeit des Zellulose-Anteils.....	15
Abbildung 6: Sprühbild des Zellulose-Kleber-Verbunds bei den ersten Versuchen.	17
Abbildung 7: Sprühdüse zur Applikation von Zellulose und Kleber.	17
Abbildung 8: Charakterisierung der Einblasmaschine „Isoblow Standard Plus“.	18
Abbildung 9: Sprühdüse mit Propeller in der Zuführung zur gleichmäßigen Verteilung der Zellulosefaser vor der Kleberzudosierung.	19
Abbildung 10: Leitschaufeln in der Sprühdüse um den Zellulosestrom über die gesamte Breite gleichmäßig zu verteilen.	19
Abbildung 11: Adaptierte Einblaseinheit mit Sprühdüsen für Heißkleberzufuhr.	20
Abbildung 12: Versuchsaufbau bei den Sprüh-versuchen mit Kleber und Wasserzudosierung.....	20
Abbildung 13: Konstruktions-.....	21
Abbildung 14: Fertige Schleudereinheit zur besseren Verteilung der Zellulose in der Versuchskiste.	21
Abbildung 15: Versuchskiste mit Sichtfenster zur Beobachtung des Füllprozesses.....	21
Abbildung 16: Versuchsaufbau mit der Zellulose-.....	22
Abbildung 17: Ergebnis der Versuche mit Zelluloseschleuder und Schmelzkleber.	22
Abbildung 18: Flipcharts aus dem Kreativworkshop. Links: Skizze des Zellulose-Kleber-Systems. Mitte: Zusammenfassende Charakterisierung des Bindemittels. Rechts: Erste Ideensammlung.....	23
Abbildung 19: Zusammenfassendes Mindmap der gefunden Lösungsvorschläge und Versuchsmöglichkeiten.....	24
Abbildung 20: Versuche mit reinem Expancel in der Heizpresse. Links: Ausgangszustand bei Raumtemperatur. Mitte: Material bis 80°C erwärmt. Rechts: Material bis 90°C erwärmt.	25