

Das aufgeführte Projekt wird aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) gefördert.

### **AiF-Vorhaben-Nr. 14399 BR**

#### **Forschungsstelle 1:**

Thüringisches Institut für  
Textil- und Kunststoff-Forschung e. V.  
Breitscheidstr. 97  
07407 Rudolstadt

#### **Forschungsstelle 2:**

Kunststoff-Zentrum Leipzig gGmbH  
Erich-Zeigner-Allee 44  
04229 Leipzig

#### **Leiter der Forschungsstelle:**

Dr. Ralf-Uwe Bauer

#### **Leiter der Forschungsstelle:**

Dr. Peter Bloß

#### **Projektleiter:**

Dr. Thomas Reußman

#### **Projektleiter:**

Dr. Axel Böhme

#### **Laufzeit:**

01.06.2005 - 31.05.2007

## **1. Forschungsthema**

### **Verbesserung des Flammverhaltens naturfaserverstärkter Polyurethan-Schaum- Verbunde durch Einsatz innovativer Flammschutzkonzepte**

## **2. Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung**

Der Weltverbrauch an PUR lag im Jahr 2001 bei ca. 8,4 Mio. t, davon 2,8 Mio. t in Europa und davon 0,5 Mio. t in Deutschland. Bei der Verwendung von PUR im Automobilbau gelingt es, die allgemeine Fokussierung auf mehr Komfort, Wärmedämmung und Schallabsorption zu realisieren. PUR-Hart- und Halbhartschäumstoffe kommen bei Instrumententafeln, Side-impacts, Türverkleidungen, Dachhimmel, Head-impacts und Hutablagen zum Einsatz, Weichschäume bei Armlehnen, Akustikschäumen, Teppichanwendungen, Vorder- und Rücksitzen, Sitzlehnen und Kopfstützen. Limitierungen bezüglich der Anwendung von reinen PUR-Schaumstoffen resultieren aus seiner begrenzten mechanischen Festigkeit und seiner Brennbarkeit. Dies ist insbesondere für Anwendungen im Fahrzeug-, Bahn- und Flugzeugbau von Bedeutung. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, Verstärkungsstoffe und Flammenschutzmittel in die PUR-Schaumstoffe einzuarbeiten. Das Ziel des Projektes ist somit die verarbeitungstechnische Entwicklung zur Herstellung von dreikomponentigen Verbunden bestehend aus:

- Polyurethan als Matrixmaterial,
- Naturfasern zur mechanischen Verstärkung und

- **Flammschutzmitteln.**

Die daraus hergestellten Formteile sollen sich auszeichnen durch:

- hohe mechanische Steifigkeit,
- gute Wärmedämmung,
- gute Schallabsorption,
- geringe Dichte und
- schlechte Brennbarkeit.

### **Stand der Technik**

Mit Blick auf das Komfortverhalten in der Fahrzeugindustrie wird zunehmend die Entwicklung von Innenverkleidungen mit entsprechenden akustischen Eigenschaften als wesentliches Gestaltungskriterium gesehen. Es werden Verkleidungselemente gezielt auf hohe Schallabsorption und geringe Schallemission hin entwickelt. Die Verwendung von PUR-Schaumstoffen als Matrixmaterial gibt gute Voraussetzungen, um Formteile mit dem gewünschten Eigenschaftsbild zu konstruieren, die durch geringere Dichten zu Treibstoffeinsparungen bei gleichzeitig höherem Komfort führen.

Die Modifizierung von Kunststoffen durch Zugabe von natürlichen Faserstoffen hat die Verbesserung mechanischer und akustischer Eigenschaften zum Ziel. Der Vorteil der natürlichen Verstärkungsstoffe liegt in deren ökologischen Potenzen als nachwachsende Rohstoffe begründet. Da Naturfasern hohl sind, haben sie das Potenzial, dass sich mit ihnen Komposite mit besonders hoher akustischer Dämpfung und geringer Dichte erzielen lassen. Naturfasern sind billiger als Glasfasern und zeigen ein günstigeres Splittverhalten im Werkstoffverbund mit PUR. Nachteilig ist die Brennbarkeit, woraus die zusätzliche Notwendigkeit des Einsatzes von Flammschutzmitteln resultiert.

Die Verarbeitung von Faserstoffen in der PUR-Industrie ist Stand der Technik und erfolgt entweder in Form von Matten, Langfasern oder Kurzfasern. Die einzelnen Verfahren sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

<b>Verfahren zur Fasereinarbeitung von</b>		
<b>Fasermatten</b>	<b>Langfasern</b>	<b>Kurzfasern</b>
SRIM NafpurTec	LFI/ NFI FipurTec InterWet	InterWet RRIM Friktionsmaschine

*Tabelle 1. Überblick über Verfahren zur Verarbeitung von Fasern in der PUR-Industrie.*

*Mit den einzelnen Verfahren können Werkstoffverbunde hergestellt werden, die einen weiten Eigenschaftsbereich abdecken. Die resultierenden Eigenschaften (der überwiegend kompakten Bauteile) sind dabei u.a. abhängig von:*

- dem verwendeten PUR-System,
- der Faserart,

- dem Faseranteil und
- der Bauteildichte.

*Alle in Tabelle 1 aufgeführten Verfahren sind dabei im Markt anzutreffen. Die Entscheidung, welches Verfahren zur Anwendung kommt, ist abhängig vom Bauteil, den mechanischen Anforderungen, der vorhandenen Anlagentechnik, den Investkosten, den Fertigungskosten etc. und wird im Einzelfall entschieden. Gerade neu entwickelt wurde von Bayer MaterialScience des MultiTec-Verfahren. Dabei wird ein lösungsmittelfreies Polyurethan im Faserspritzverfahren mit Glasfasern gesprüht. Durch die wahlweise Zugabe der Glasfasern und die Variation der Ausgangskomponenten kann ein schichtweiser Aufbau erfolgen. Dieses Verfahren steht im Wettbewerb zu den Verfahren der GfK-Verarbeitung.*

Die Verarbeitung von Naturkurzfasern mit PUR ist bisher noch nicht technisch umgesetzt. Hier kann die Verarbeitung mittels Friktionsmaschine erfolgen. Bei diesem Verfahren wird mittels einer Hochdruckreaktionsgießmaschine das PUR-Gemisch hergestellt und anschließend in einer schnell rotierenden Friktionsschnecke mit den Naturfasern vermischt. Dieses Verfahren setzt rieselfähige Fasern voraus. Der Fasergehalt im PUR-Faser-Verbund wird durch den Viskositätsanstieg durch Faserzusatz und die Abstimmung der Fördermengen zwischen Friktions- und Dosierschnecke begrenzt.

Das Brandverhalten von faserverstärkten Kunststoffen ist für bestimmte Anwendungsfälle, insbesondere im Fahrzeugbau von großer Bedeutung und kann durch den Einsatz von Flammschutzmitteln verbessert werden. Eine brandhemmende Wirkung bei Kunststoffen kann durch Einsatz sowohl bekannter halogenfreier Flammschutzmittel (z. B. Polyphosphate, Melamin-Derivate, Hydroxide der II. und III. Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente) als auch innovativer Flammschutzmittel (z. B. Blähgraphit, Ammoniumpolyphosphat, Nano-Schichtsilikate) erreicht werden.

Für den Einsatz von Flammschutzmitteln in PUR-Naturfaserverbunden muss eine spezielle Rezeptur entwickelt werden. Einerseits geht von den inkorporierten Naturfasern eine Dochtwirkung aus, wodurch das Polymer am Abtropfen gehindert wird und die Brandwirkung zu der ehemals schon brennbaren Naturfaser nochmals verstärkt wird. Andererseits ist zu erwarten, dass ein zu hoher Anteil an Additiven die Verarbeitbarkeit auf der Friktionsmaschine negativ beeinflusst. In diesem FuE-Projekt sollen innovative Flammschutzmittel, wie Blähgraphit und weitere halogenfreie Additive, unter Zugabe von Nanoschichtsilikaten eingesetzt werden. Die Verarbeitung sowie das Brandverhalten der hergestellten Compounds soll geprüft werden. Zu dieser Thematik sind bisher keine Arbeiten bekannt geworden.

### **3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg**

#### **3.1 Forschungsziel**

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung von flammgeschützten Verbundmaterialien, bestehend aus

- **Polyurethan** als Matrixmaterial,
- **Naturfasern** als Verstärkungstoff und
- **Flammschutzmitteln**,

welche den wachsenden Anforderungen in Bezug auf das Flammverhalten in der Fahrzeug-, Bahn- und Flugzeugindustrie gerecht werden. Diese Forschungsarbeiten sollen unter Anwendung von zwei unterschiedlichen Verarbeitungstechnologien durchgeführt werden:

- *Im TITK werden die Werkstoffverbunde unter Anwendung einer in der Industrie etablierten Verarbeitungstechnik (Formpresstechnik) hergestellt.*
- *Im KuZ erfolgt die Verarbeitung von kurzen Naturfasern mit PUR mittels einer Friktionsmaschine.*

Als Naturfasern sollen im TITK Fasermatten aus Mischungen von Flachs-, Sisal, und Hanffasern und im KuZ Kurzfasern aus Sisal, Jute, ggf. Hanf und Flachs und deren Mischungen zum Einsatz kommen. Durch Verwendung innovativer Flammschutzmittel (z. B. Blähgraphit, Ammoniumpolyphosphat) soll das Brandverhalten in der Weise verbessert werden, dass es den Anforderungen im Fahrzeugbereich entspricht. Oftmals sind hohe Zusätze an Flammschutzmittel notwendig, wodurch die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffverbundes teilweise erheblich verschlechtert werden.

Durch die Zugabe von Flammschutzsynergisten (hier Nano-Schichtsilikate) und die Verringerung der Konzentration des konventionellen Flammschutzmittels kann dies abgemindert werden. Ergebnisse aus diesen Untersuchungen lassen sich dann auf die Arbeiten im KuZ mit Naturkurzfasern übertragen, die mit einer neuartigen Dosiertechnik in das PUR eingearbeitet werden sollen.

### **3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse**

Hauptthema ist die verarbeitungstechnische Entwicklung zur Herstellung von dreikomponentigen Verbunden, bestehend aus PUR-Schaum als Matrixmaterial mit einer mechanischen Verstärkung durch Naturfasern und zusätzlicher Beimischung von innovativen Flammschutzmitteln.

*Neben den ökologischen Vorteilen und der Verbesserung der Steifigkeit der PUR-Naturfaserverbunde sollen auch die technologischen Vorteile genutzt werden, die sich aus dem Herstellungsprozess ergeben:*

- *Integration von Aufnahmen, Verstärkungselementen, Einliegern in den Fertigungsprozess,*
- *Hinterschäumen von Folien,*
- *Aufbau von Sandwichstrukturen.*

*Die im KuZ als Prototyp verfügbare Friktionsmaschine ist nicht für die Verarbeitung von feststoffhaltigen Polyolen, wie in der Projektbearbeitung durch den Zusatz fester Flammschutzmittel notwendig, geeignet. Feste Flammschutzmittel und hochviskose Polyole sind mit dieser Anlagenkonfiguration nicht verarbeitbar. Deshalb muss die Friktionseinheit an eine andere, im KuZ verfügbare Maschine, deren Polyoldosierung mittels Tauchkolben erfolgt, angepasst werden. Dazu sind neben mechanischen (verfahrenstechnischen) Veränderungen durch die Adaption eines anderen Mischkopfes und damit die Realisierung anderer Mengenströme auch steuerungstechnische (Integration in die bestehende Maschinensteuerung) Arbeiten notwendig.*

Die modifizierte Friktionseinheit soll dann ohne großen Aufwand beliebigen Hochdruckmaschinen beigelegt und als Zusatzaggregat nachgerüstet werden können. Damit kann beim Verarbeiter vorhandene Anlagentechnik genutzt werden.

### **3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse**

*Das Hauptanliegen des Forschungsprojektes besteht seitens des Werkstoffes in der Entwicklung eines innovativen PUR-Mehr-Komponenten-Systems. Der Einsatz innovativer Flammschutzmittel, mit dem Potenzial zur erheblichen Verminderung der erforderlichen Konzentration im Verbund, wird durch die Eigenschaft des gleichfalls verwendeten Nanoschichtsilikates unterstützt, sich im Matrixmaterial zu einer netzwerkartigen Gerüststruktur auszubilden. Darüber hinaus sollen im Projektzeitraum die Eigenschaften der Verbunde so optimiert werden, dass sich potentielle Anwendungen in der Fahrzeug-, Bahn-, Flugzeug- oder Möbelindustrie ableiten lassen. Gleichzeitig ist das Verfahren zur Herstellung der Verbundwerkstoffe dahingehend zu optimieren, dass als Alternative zur Verarbeitung von Fasermatten eine Friktionseinheit zur Dosierung von Naturkurzfasern entwickelt wird, die in vorhandene Maschinenteknik integriert werden kann.*

### **3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels**

Für die Herstellung der Langfaser-Verbundplatten sollen im TITK zunächst Naturfaservliese hergestellt werden, aus denen mit PUR als Matrixmaterial Faserverbunde mit verschiedenen Fasergehalten gefertigt werden.

Die Rezepturentwicklung und Verarbeitung der unterschiedlichen Flammschutzmittel erfolgt in Zusammenarbeit der beiden Forschungsstellen. So können Kompetenzen des TITK im Bereich Fasermatten-Technologie und Flammschutz mit denen des KuZ auf dem Gebiet PUR-Verarbeitung und der Verarbeitung von Kurzfasern in PUR zusammengeführt werden, so dass sich effektive Lösungsansätze ergeben.

*Für die PUR-Kurzfaserverbunde ergeben sich bezüglich des resultierenden mechanischen Eigenschaftsniveaus 2 wesentliche Fragestellungen:*

- *Bei der Friktionsmaschine erfolgt der Gemischeintrag in ein offenes Werkzeug. Die Konsistenz des Gemisches ist von der zugesetzten Fasermenge abhängig. Die Reaktion und ggf. die Volumenexpansion startet nach dem Schließen des Werkzeuges. Damit sollte eine Gleichverteilung der Fasern und keine Vorzugsorientierung im Werkstoffverbund vorliegen und somit richtungsunabhängige thermische Ausdehnungskoeffizienten und mechanische Eigenschaften resultieren. Beim RRIM-Verfahren hingegen kann die Faserorientierung u.a. durch die Werkzeuggestaltung und damit die Fließigenschaften beeinflusst werden. Über die Faserorientierung in Integralschaumstoffen gibt es nach unserem Kenntnisstand bisher keine Aussagen. Im Rahmen der Projektbearbeitung sind Untersuchungen der mechanischen Eigenschaften richtungsabhängig sowie ergänzende mikroskopische Arbeiten vorgesehen.*
- *Durch das Verfahrensprinzip werden die Naturfasern in der Friktionsschnecke mit dem flüssigen PUR-Reaktionsgemisch benetzt. Neben der physikalischen Haftung des PUR an der Naturfaseroberfläche kann auch eine chemische Anbindung der Fasern durch die Reaktion von Hydroxylgruppen der chemischen Bestandteile der Naturfasern (u.a. Cellulose, Hemicellulose) mit Isocyanat erfolgen. Eine Vorbehandlung der in der Praxis mit PUR verarbeiteten Naturfasern erfolgt bisher nur durch Trocknung, um den Feuchtegehalt auf einem konstant niedrigem Niveau zu halten und damit die notwendigen, reproduzierbaren Randbedingungen im PUR-Verarbeitungsprozess zu realisieren. Geplant sind weiterführende Untersuchungen zur Faser-Matrix-Haftung.*

Die PUR-Technologie sollte sich bezüglich der Einarbeitung und Aufweitung der Nanoschichtsilikate im Vergleich zu Extrusions- oder Spritzgieß-Verfahren in der Thermoplastverarbeitung als vorteilhaft erweisen. Die Schichtsilikate können über entsprechende Mischtechnik im Polyol feinst verteilt werden, was sich positiv auf Flammschutzsynergismen auswirken wird.

Bei der Auswahl der Naturfasern und des Flammschutzmittels wird auf die Ergebnisse der Voruntersuchungen des TITK zurückgegriffen. Darüber hinaus ist aber die Entwicklung auf dem Gebiet der Naturfasern, als auch dem Flammschutzsektor weiterhin zu beobachten und hinsichtlich der Anwendung weiterer alternativer Materialien zu sondieren.

Mit den unterschiedlichen Flammschutz- und Naturfasermaterialien und einem PUR-Matrixmaterial sollen Proben hergestellt werden, an denen ein umfangreiches Eigenschaftsprofil ermittelt wird.

Die zu messenden Eigenschaften bzw. die durchzuführenden Untersuchungen sind:

- Mikroskopie (Dispersionswirkung und die Faser-Matrixhaftung, Faserverteilung)
- Mechanische Eigenschaften
  - Dichte bzw. Rohdichte
  - Festigkeit und E-Modul in Zug- und Biegeprüfungen
  - Akustische Dämpfung
  - Energieabsorption.

- Wärmeleitfähigkeit.
- Brandverhalten
  - Brandausbreitung
  - Rauchgasdichte und –zusammensetzung
  - Entzündungszeit des Rauchgases und
  - Wärmefreisetzung.
  - Brennverhalten nach UL94
  - Brennprüfung nach einschlägigen Prüfungen der Auto-Industrie
  - Wärmeformbeständigkeit (HDT, Vicat)
  - L.O.I.-Bestimmung
  - CO-Emission
  - Abtropfverhalten
  - Schwelbrandgefahr.
- DSC- und WAXS-Untersuchungen.

Die komplexen Untersuchungen sind notwendig, um die brandschützende Wirkung der verwendeten Flammschutzmittel charakterisieren zu können. Weiterhin sollen Aussagen abgeleitet werden, welche Mengen an flammhemmenden Substanzen durch Nanoschichtsilikat als Flammschutzsynergist ersetzt werden können.

#### **4. Wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen**

Der hauptsächliche Nutzen wird in der kunststoffverarbeitenden Industrie gesehen, da hier die Werkstoffkombinationen verarbeitet werden. Durch die Entwicklung einer Friktionseinheit, die ohne großen Aufwand zu verursachen, in vorhandene Anlagentechnik zu integrieren ist, kann der Investitionsaufwand niedrig gehalten und das Anwendungspotential für das Verfahren erweitert werden. Dadurch sind die Verarbeiter in der Lage auch kleine Stückzahlen kostengünstig mit dieser Technologie fertigen zu können. Durch diese Flexibilität ist die Chance vorhanden, dass diese Werkstoffe auch für andere Einsatzzwecke interessante Alternativen bieten.

#### **5. Beabsichtigte Umsetzung der angestrebten Forschungsergebnisse**

Die erhaltenen Ergebnisse werden publiziert durch:

- Seminare und Weiterbildungsveranstaltungen,
- PUR-Fachbeirat im KuZ,
- Vorträge und Poster anlässlich von Fachtagungen,
- Arbeitsblätter zu Informationszwecken,
- Fachpresse,
- Internet Homepages der Forschungsstellen.

Ziel ist es, dass die Vorteile der innovativ flammgeschützten Faserverbundwerkstoffe auf ein Bauteil übertragen werden können und so neue Anwendungen erschlossen werden. Sowohl das TITK als auch das KuZ erweitern und vertiefen ihre speziellen Kenntnisse auf dem Gebiet der Polyurethanverarbeitung, der Faserverbundwerkstoffe und dem Einsatz innovativer Flammenschutzkonzepte. Gerade diese Flammschutzkonzepte sind von entscheidender Bedeutung, um perspektivisch den Einsatz von Kunststoffen im allgemeinen und Polyurethanen im besonderen unter den sich immer mehr verschärfenden Flammchutzanforderungen in der Bahn- und Flugzeugindustrie, aber auch der Bau- und Autoindustrie zu sichern.