

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <span style="float: right;">Schlussbericht</span>
3. Titel "Verbundprojekt: Technische Thermoplaste mit naotechnologisch verbesserten Prozesseigenschaften als Matrixwerkstoff für hoch belastete, dickwandige FKV-Strukturbauteile"	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Dipl.-Ing. Voigt, Matthias	5. Abschlussdatum des Vorhabens März 2010
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  IFC-Composite GmbH Jacob-Uffrecht-Straße 2 39340 Haldensleben	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *)  03X3011D
	11. Seitenzahl
13. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  53170 Bonn	12. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung  Ziel war die Entwicklung eines kostengünstigen Glasfaser-Thermoplast-Verbundsystems für Leichtbauanwendungen mit Hilfe von nanooptimierten Thermoplasten. Bei vergleichbaren mechanischen Eigenschaften zeigen thermoplastische Matrices gegenüber Duroplasten Vorteile, wie Preis, Verarbeitung, Recycling und Arbeitshygiene. Nachteile sind hohe Schmelzviskosität sowie die geringen matrixdominierten Festigkeiten - hier setzte das Forschungsvorhaben an. Die wesentlichste Aufgabe der IFC war, die Auslegung eines Demonstratorbauteils (Blattfeder), die Erarbeitung einer entsprechenden Fertigungstechnologie sowie geeigneter Prüfmethode. Die grundsätzliche Eignung wurde nachgewiesen.	
19. Schlagwörter  Technische Thermoplaste, FKV-Strukturbauteile	
20. Verlag	21. Preis

## **SCHLUSSBERICHT**

**zum Forschungsvorhaben „Verbundprojekt: Technische Thermoplaste mit nanotechnologisch verbesserten Prozesseigenschaften als Matrix Werkstoff für hochbelastete, dickwandige FKV-Strukturbauteile“**

Ausführende Stelle: IFC-Composite GmbH

Förderkennzeichen: 03X3011D

Laufzeit: 01.06.2007 – 31.03.2010

### Teil: Eingehende Darstellung

#### **1) Erzielte Ergebnisse**

Die wesentlichsten Aufgaben der IFC-Composite GmbH im Rahmen des Verbund-Forschungsvorhabens waren:

- ❖ Erarbeitung der Press- und Temperaturprofile zur Herstellung von Normplatten zur Kennwertbestimmung, Konstruktion und Bau entsprechender Versuchswerkzeuge und – vorrichtungen
- ❖ Ermittlung relevanter mechanischer Kennwerte, wie ILS, 90°-Querfestigkeit, Erarbeitung von Schlussfolgerungen
- ❖ Modellierung (mit Hilfe von FEM-Berechnungen) eines zu substituierenden höchst belasteten Bauteils (Blattfeder) in der Werkstoffkombination Thermoplast und Glasfaser

- ❖ 3D-Modellierung, Gestaltung der Krafteinleitung und Konstruktionsvorgaben für ein Presswerkzeug für das Versuchs-Bauteil „Blattfeder“
- ❖ Herstellung und Erprobung von Versuchsmustern (Blattfeder) aus den thermoplastischen Werkstoffen PA6 und SAN
- ❖ Ermittlung der Hubrate und der Stabilität, Vergleich mit Serien-Kennwerten der Duroplastmatrix
- ❖ Durchführung und Auswertung dynamischer Wechsellasttests auch unter Klimabedingungen

Im Wesentlichen wurden dabei folgende Ergebnisse erreicht:

- ❖ Mittels FEM-Berechnung wurde eine zu substituierende Längsblattfeder modelliert und mit der Werkstoffkombination Thermoplast/Glasfaser berechnet. Dabei wurden die Lastfälle Rückwärtsbremsen, Vorwärtsbremsen und Hartanschlag dargestellt und entsprechende Kennwerte, wie maximale Biegespannung und maximale Schubspannung berechnet.
- ❖ Das Presswerkzeug wurde mit mehreren Heizzonen im Stempel und in der Kavität versehen, so dass ein exaktes Einstellen eines entsprechenden Temperaturprofils möglich war.
- ❖ Die Prototyp-Feder SAN wurde unter Raumtemperatur mit dynamischer Wechsellast beaufschlagt. Bereits nach 20.011 Lastwechseln (entspricht nur 10% der Lebensdaueranforderung), trat ein Versagen auf (Ursache = Delamination in der neutralen Faser zwischen den Einzellagen).
- ❖ Daraufhin wurden Normplatten aus PA6 hergestellt und entsprechende statische Kennwerte ermittelt. Der mechanische Kennwert ILS lag nunmehr bei 90% im Vergleich zum Referenzwert (Epoxy-System), für die Querbiegefestigkeit wurden ca. 50% des Referenzwertes erreicht. Im Vergleich zum thermoplastischen SAN konnten jedoch mit dem PA-Werkstoff die ILS- und Querbiegefestigkeitswerte signifikant gesteigert werden.

- ❖ Die entsprechend den o.g. Aussagen hergestellten PA6-Prototypen ergeben eine Reihe von Verbesserungen, so u.a.:
  - Es konnte eine homogenere Faserverteilung erreicht werden. Der erreichte Faservolumengehalt (FVA) wurde mittels Veraschungs-Methode bestimmt und entsprach dem mit der Finite-Elemente-Berechnung definierten FVA-Wert.
  - Die im Ergebnis der Finite-Elemente-Berechnung festgelegten Federeigenschaften (Hubrate), wurden bei den PA6-Prototypen bestätigt. Untersuchungen/Messungen zur Stabilität/Zeit-standsverhalten der Federeigenschaften (Hubrate) der PA6-Prototypen-Federn, ergaben eine Toleranz von 0,7% bei 50 Messungen.
  - Eine Prototyp-Feder aus PA6 wurde ebenfalls bei Raumtemperatur dynamisch getestet. Der PA6-Prototyp versagte nach 61.412 Lastwechseln, d.h. ~30% der Lebensdauerforderung. Ausfallursache war das Versagen zwischen den Lagen in der neutralen Faser.
  
- ❖ Einen weiteren Schwerpunkt bildeten Untersuchungen zur Vorwärmung der thermoplastischen Rohlinge. Dazu wurden drei Verfahren der Vorwärmung untersucht, das Vorwärmen mittels Infrarot, den Einsatz von Mikrowellenstrahlung (ohne Bauteilbewegung) sowie den gesteuerten Bauteildurchlauf bei Mikrowelleneinsatz.
 

Gegenüber den nicht vorgewärmten Rohlingen konnten folgende Effekte erreicht werden:

  - Vorwärmung durch Infrarot
 

Bei insgesamt befriedigenden Eindringtiefen der Erwärmung – bis 7 mm – konnte der Pressprozess um ca. 3% verkürzt werden.
  - Vorwärmung durch Mikrowellen
 

Das gesamte Bauteil wurde bei der Erwärmung durchdrungen. Bei der fehlenden Bauteilbewegung konnte jedoch keine homogene Durchdringung erreicht werden. Auch mit optimierten Parametern traten Bereiche lokaler Temperaturspitzen auf. Bei einem Mikrowelleneinsatz mit gesteuertem Bauteildurchlauf

ergab sich ein homogener Wärmeeintrag – Temperaturspitzen traten nach Prozessoptimierungen nicht mehr auf.

Im Ergebnis konnte mit dieser Technologie die Presszeit um 5% reduziert werden und die o.g. statischen Kennwerte um ca. 2% gesteigert werden.

- ❖ Im Ergebnis der umfangreichen Untersuchungen zur Vorwärmung wurde eine entsprechende PA6-Prototyp-Feder mit Mikrowellen-Vorwärmung und gesteuerter Bauteilbewegung hergestellt und getestet. Nunmehr konnten 76.249 Lastwechsel erreicht werden – eine Steigerung um 24% im Vergleich zu den genannten Versuchen mit PA6 ohne Vorwärmung (jedoch immer noch unter den angestrebten Lebensdaueranforderungen).
- ❖ Zur weiteren Verbesserung, insbesondere der Ergebnisse der dynamischen Belastungsversuche, wurden Versuche zur Herstellung von Probestplatten und Prototypen-Federn aus dem Werkstoff PA6.6 durchgeführt. Diese Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen – derzeit wirken sich die hier auftretenden hohen Streuungen der Messergebnisse erschwerend auf die technologischen Parameteroptimierungen aus.

Zur Veranschaulichung der Versuchsdurchführungen und der Ergebnisse ist dem Bericht eine Anlage beigelegt.

## **2) Erläuterung zahlenmäßiger Nachweis**

Entsprechend der Nachkalkulation (siehe zahlenmäßiger Verwendungsnachweis) wurden die Positionen

- ❖ Material (98,05% der kalkulierten Mittel)
- ❖ Abschreibungen (101,58 % der kalkulierten Mittel)

im Wesentlichen wie geplant benötigt.

Abweichungen ergaben die Positionen

- ❖ Personalkosten (benötigt wurden nur 77,61 % der kalkulierten Kosten)

- ❖ Reisekosten (nur 23,16 % der kalkulierten Mittel wurden benötigt)

Insgesamt wurden statt der geplanten Gesamtkosten des Vorhabens von 697.800 EUR nur 557.900,69 EUR abgefordert (dies entspricht 80%).

Gründe für die o.g. Differenzen der realen Kosten zur Vorkalkulation waren:

- ❖ Der Themenleiter, Herr Förster, konnte nur im begrenzten Umfang am Vorhaben mitarbeiten und verließ das Unternehmen auch schon vor Themenabschluss.
- ❖ Eine Reihe von dynamischen und statischen Belastungsversuchen sowie der Werkstoffuntersuchungen konnten durch externe Partner (insbesondere IFA-Technologies GmbH) gebunden werden – hierfür entstanden keine Kosten. Die dafür eingeplanten personellen Kapazitäten entfielen.
- ❖ Die ursprünglich konzipierten hohen Reisekosten basierten im Wesentlichen auf eine über lange Zeiträume notwendige permanente Anwesenheit beim Projektpartner in Dortmund. Im Themenablauf zeigte es sich, dass Telefonate und gelegentliche Treffs ausreichend waren, um eine gute Abstimmung zu gewährleisten.

### **3) Notwendigkeit und Angemessenheit des Vorhabens**

Das 2003 ausgelaufene MaTech-Projekt „Verbesserung und Optimierung eines innovativen Low-Cost Glasfaser-Thermoplast-Verbundsystems ...“ (TU Darmstadt) zeigte die grundsätzliche Möglichkeit, Faserverbunde mit duroplastischen Matrixwerkstoffen durch solche mit thermoplastischen Matrices zu substituieren.

Im nunmehrigen Forschungsprojekt sollte die konkrete Umsetzung in einem Demonstratorbauteil (PKW-Blattfeder) erfolgen. Das Einsatzgebiet von glasfaserverstärkten Thermoplasten, insbesondere in der Fahrzeugtechnik, beschränkt sich bisher überwiegend auf niedrigbelastete, dünnwandige Verkleidungsteile.

Die Notwendigkeit und ,Angemessenheit des Vorhabens ergibt sich weiterhin aus

- ❖ der Vielzahl von möglichen Matrixwerkstoffen und der zeit- und kostenintensiven Suche nach geeigneten Thermoplasten
- ❖ der aufwändigen Anpassung der Tränkvorrichtung und des gesamten Herstellungsverfahrens auf den jeweiligen Thermoplasttyp (Einfluss der Kristallstruktur der Thermoplaste!)
- ❖ der ausgezeichneten Wiederverwertbarkeit eines Glasfaser-Thermoplast-Verbundes. Durch die vollständige Recyclebarkeit entstehen, insbesondere unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit, wesentliche Vorteile gegenüber den zu substituierenden Stahlbauteilen, als auch gegenüber möglichen duroplastischen Alternativen, die nur eingeschränkt recyclebar sind.

#### 4) Voraussichtlicher Nutzen

Grundsätzlich konnte die Eignung von modifizierten Thermoplasten mit nanotechnologisch verbesserten Prozesseigenschaften als Matrixwerkstoff für hochbelastete Bauteile am Beispiel einer Blattfeder nachgewiesen werden.

Wegen der, insbesondere in den dynamischen Kennwerten noch nicht vollständig erreichten Zielvorgaben (Zahl der Lastwechsel), ist eine kurzfristige Produktionseinführung noch nicht möglich.

Eingeschätzt wird, dass bis zur Produktionseinführung noch weitere Prozessuntersuchungen und –optimierungen notwendig sind.

Dafür wurde folgender (interner) Ablaufplan festgelegt:

- I) Themenabschluss und Auswertung, Konkretisierung der weiteren notwendigen FuE-Arbeiten, Erarbeitung eines erweiterten Versuchsplanes zum Werkstoff PA6.6  
Termin: 31.03.2010 / 30.09.2010
- II) Herstellung verschiedener Probepplatten und Prototypen-Federn entsprechend dem in Pkt. I erarbeiteten Versuchsplanes, Durchführung der relevanten, dynamischen Belastungsversuche  
Termin: 31.01.2011
- III) Auswertung der im Pkt. II durchgeführten Prüfungen unter den Gesichtspunkten der erreichten Parameter (Zahl der Lastwechsel), der statistischen Aussagefähigkeit und der erreichten Pro-

zessicherheit

Termin: 31.03.2011

- IV) Untersuchung weiterer Einsatzbeispiele außer für Blattfedern (z.B. Gelenkscheiben für Windkraftanlagen oder Federelemente für Vibrationsförderer)

Termin: 31.05.2011

- V) Detaillierte Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen sowohl der Werkstoff-Matrix, als auch der gesamten Prozesshaupt- und nebenkosten (u.a. Einbeziehung der Energiekosten und der Werkzeugkosten)

Termin: 31.03.2011

- VI) Entscheidung zum Serieneinsatz der technischen Thermoplaste mit nanotechnologisch verbesserten Prozesseigenschaften als Matrixwerkstoff für das Teilespektrum der IFC-Composite sowie zu den dafür relevanten Investitionskosten.

Termin: 30.06.2011

## **5) Fortschritte zum Vorhabensgebiet von anderen Stellen**

Permanente Literatur- und Patentrecherchen zum beschriebenen Aufgabenkomplex ergaben keine „neuen“ für das Vorhaben relevanten Erkenntnisse anderer Stellen.

Dies wurde insbesondere deutlich im Rahmen der Schutzrechtsanalysen zur durchgeführten Patentanmeldung.

## **6) Ergebnisveröffentlichungen**

Zum Vorhaben erfolgte eine Patentanmeldung („Verfahren zur Herstellung einer Blattfeder aus einem Faserverbundwerkstoff mit einem Thermoplast sowie derartig hergestellte Blattfedern“ – DE 10 2007 031104 A1, Offenlegung = 2009)

Voigt – Projektverantwortlicher

Aulich – Geschäftsführer

Anlage:

- Darstellung der wesentlichsten Forschungsaktivitäten  
und Ergebnisse
- Erfolgskontrollbericht