

**Kurzveröffentlichung des Forschungsvorhabens | IGF-Nr. 19586 N**

## **Biotechnologische Rückgewinnung von Carbonfasern aus schwer recyclebaren Faserverbundwerkstoffen**

Das Projekt beschäftigte sich mit der biotechnologischen Rückgewinnung von Carbonfasern aus schwer recyclebaren Faserverbundwerkstoffen. Carbonfaser-verstärkte Kunststoffe (CFK) werden als Werkstoffe mit hohem Entwicklungspotenzial eingestuft. Diese High-End-Materialien werden unter anderem in der Luftfahrt-, Automobil- und Windkraftindustrie eingesetzt. Die kosten- und energieintensiv hergestellten Carbonfasern werden in verschiedene Matrixsysteme eingebettet und als Faserverbundwerkstoffe verarbeitet. Die verstärkten Polymere besitzen außergewöhnliche Eigenschaften wie hohe Steifigkeit und Festigkeit bei gleichzeitig niedriger Dichte. Die Rückgewinnung der Carbonfasern aus der Matrix gestaltet sich jedoch schwierig. Viele Matrixverbundstoffe können nicht wiederverwertet werden. CFK-Verbundreste können derzeit nicht vollständig als herkömmlicher Abfall abgebaut werden. Um den Stoffkreislauf zu schließen und die Carbonfasern in hoher Qualität zurückzugewinnen, wurde in diesem Projekt die Umsetzbarkeit eines biologischen Abbauverfahrens untersucht. Dafür wurde die Stoffwechselleistung bestimmter Mikroorganismen, derart komplexe Werkstoffe wiederverwerten zu können, genutzt.

Der Pilz *Aspergillus niger* wurde anhand von Vorversuchen und weiterführenden Versuchen im Projektverlauf auf Festmedium als besonders geeignet für den Abbau von Epoxidharzen eingestuft. *A. niger* zeigte sich in der Lage, Epoxidpulver im festen Nährmedium in zeitlicher Abhängigkeit abzubauen. Dabei wurde eine ausgeprägte wachstumsinhibierende Wirkung des Epoxid auf den Pilz beobachtet. Allerdings war *A. niger* fähig, sich an diese Kulturbedingungen anzupassen und die inhibierende Wirkung des Epoxids zu kompensieren. Die optimalen

**Ihr Ansprechpartner zu diesem Projekt:**

Dr. Evelyn Konopka  
Telefon: +49 7143 271-516  
E-Mail: e.konopka@hohenstein.com

Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH  
Schlosssteige 1  
D-74357 Bönnigheim

Prozessparameter wie Nährstoffgehalt, pH-Wert und Temperatur wurden mit Hilfe von Abbauprobungen im Flüssigmedium und der Bewertung des biologischen Abbaus durch Manometrie etabliert. Es zeigte sich, dass der Pilz Epoxidharz nicht als alleinige Kohlenstoffquelle nutzen kann. Für die Anzucht des Pilzes müssen bestimmte Startbedingungen wie beispielsweise eine ausreichende Menge an leichtzugänglicher Energie verfügbar sein. Allerdings ist es wichtig, die leichtverwertbare Kohlenstoffquelle (hier: Glukose) zu limitieren, damit der Pilz in die Situation kommt, das angebotene Epoxid als C-Quelle zu nutzen. Anhand der durchgeführten Versuche zeigte sich, dass eine Konzentration von 5 g/l Glukose im Nährmedium dem Pilz gute Startbedingungen liefert, sodass sich dieser trotz wachstumsinhibierender Einflüsse des Epoxids gut in den Fermentationsansätzen etablieren kann. Weiterhin zeigten leicht erhöhte Temperaturen einen positiven Effekt auf die biologische Aktivität des Pilzes. Bei 30 °C konnte eine deutliche Steigerung der biologischen Aktivität im Vergleich zur Raumtemperatur festgestellt werden. Durch Abbauprobungen im Flüssigmedium konnte ebenfalls festgestellt werden, dass *Aspergillus niger* einen pH-Wert von 6 bevorzugt. Kulturmedien mit abweichenden pH-Werten justiert der Pilz wenn möglich im zeitlichen Verlauf bis zu seinem favorisierten pH-Wert nach. Die Mycelbildung sowie der Bewuchs der CFK-Stücke war bei pH 6 am besten ausgeprägt. Die technische Nutzbarmachung des biologischen Prozess erfolgt im Bioreaktor. Ein erster Schritt in diese Richtung war das Up-Scaling des Prozesses auf ein Volumen von einem Liter in einem Laborreaktor. Die Fermentation folgte hier dem Verlauf eines Batch-Prozesses. Das bedeutet, dass im gesamten Verlauf dem Prozess weder Substanzen hinzu gefügt noch entfernt werden. Die Fermentationsprozesse wurden über einen Zeitraum von 6 Wochen durchgeführt. Nach Beenden wurden die CFK-Stücke mittels REM untersucht. Dabei wurden die Oberflächen miteinander verglichen. Die Oberflächen fermentierter CFK-Stücke waren deutlich rauer als die der unbehandelten Stücke. Allerdings konnten anhand der REM-Aufnahmen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Fermentationsprozessen beobachtet werden. Die Abbildung des Erfolgs der Epoxiddegradation sowie der kulturmikrobiologischen Maßnahmen über eine Genexpressionsanalyse eines epoxidabbauendes Enzyms von *A. niger* (Epoxidhydrolase) war innerhalb der Projektlaufzeit nicht erfolgreich. Die Charakterisierung der Carbonfaserrecyclate am ITA ergab, dass durch den Fermentationsprozess teilweise deutliche Schädigungen in der Zugfestigkeit auftraten. Zusätzlich dazu konnten anhand von REM-Analysen der fermentierten Carbonfasern deutliche Schädigungen der Oberfläche und Schlichte beobachtet werden. Für die Verwendung der Carbonfaserrecyclate für tragende Strukturbauteile wird daher eine ausführliche Studie der Faserschädigung empfohlen. Zusammenfassend zeigten die Projektergebnisse, dass ein biotechnologischer Abbau der Epoxidmatrix von Carbonfaserverbundstoffen möglich ist. Für eine Optimierung der Prozesse sowie eine industrielle Umsetzung besteht aufgrund der Komplexität des Themas jedoch weiterer Forschungsbedarf.

## **Danksagung**

*Das IGF-Vorhaben 19586 N der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstraße 12-14, 10177 Berlin wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Bundestages gefördert.*

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## **Projektleiter:**

Dr. Evelyn Konopka

## **Forschungsstelle:**

Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH

Schlosssteige 1

D-74357 Bönningheim

Leiter: Prof. Dr. Stefan Mecheels, Dr. Timo Hammer

## **Schlussbericht:**

Zu beziehen über die Forschungsstelle