

## Entwicklung funktioneller Beschichtungen für thermoplastische Hochmodul-fasern zur Herstellung kostengünstiger Faserverbundwerkstoffe mit hoher Schlagzähigkeit (IGF 17861N/1)

**Autoren:** Werner Wunderlich  
Tom Hager  
Volkmar v. Arnim  
Thomas Stegmaier  
Götz Gresser

**Erschienen:** März 2016

**Förderzeitraum:** 01.12.2012 – 30.11.2015

Zielsetzung und Lösungsweg des vorwettbewerblichen Forschungsprojekts waren darauf ausgerichtet, die bisherigen Einschränkungen für den Einsatz von thermoplastischen Hochmodulfasern (HMF) wie z.B. Innegra- und Dyneema-Fasern, in der Faserverbundwerkstoff (FVW) - Technik zu überwinden und deren bisherigen Einsatzgebiete erheblich zu erweitern und damit neue Wege zu eröffnen für leichtere, schlagzähere und preiswertere FVW.

Dies wurde durch mehrere Maßnahmen erreicht:

Teilvernetzende und vollvernetzende thermoplastische Beschichtungen, die auch die Matrix des Verbundwerkstoffes bildeten, wurden weiter entwickelt und so angepasst, dass die Imprägnierung bei niedrigen Temperaturen ohne Gefährdung der thermoplastischen Fasern erfolgen konnte.

Zur Einzelfadenbeschichtung der PP- bzw. PE-HMF mit strahlenvernetzbaaren Thermoplasten wurde ein Doppelschneckenextruder (Abb. 1) der Fa. Thermo Scientific (Eurolab 16) mit einer dazugehörigen modifizierten Ummantelungsdüse eingesetzt.

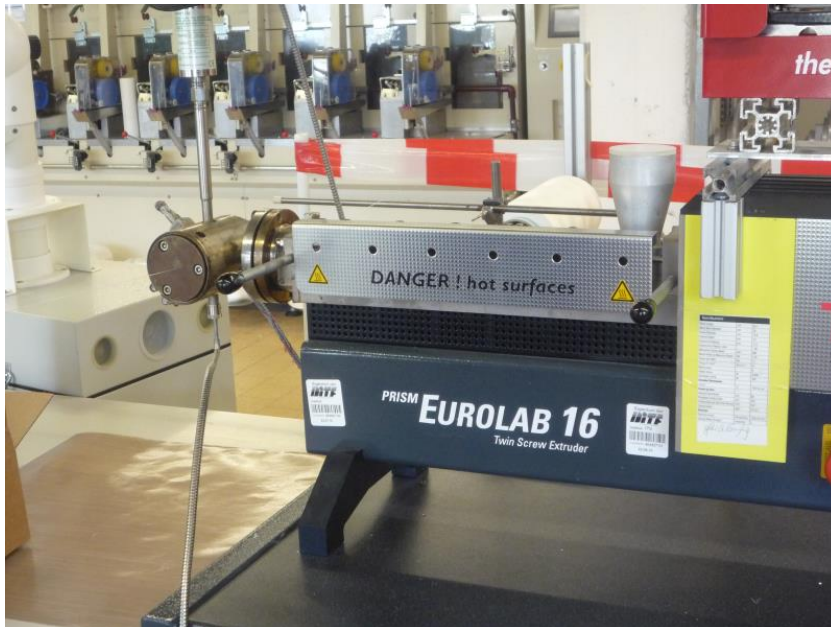


Abbildung 1: DS-Extruder mit montierter Kabelummantelungsdüse

Für die thermoplastischen Beschichtungen der Innegararne wurden vier verschiedene PP-Thermoplaste (Variation Rheologie und Schmelzpunkt) mit unterschiedlicher Zugabe von Strahlenvernetzeradditiven erprobt und nach der Beschichtung mit veränderter Strahlendosis vernetzt. Die Dyneemafasern wurden mit einem PP-Thermoplast und einem Ethylen-Copolymer beschichtet mit anschließender Strahlenvernetzung.

Die Bestimmung des Vernetzungsgrades erfolgte durch Gelwertanalysen bei der Fa. PTS. Dabei wurde das Prüfmuster unter Kochen im Rückfluss über eine Dauer von 8 Stunden in Xylol gekocht, die Lösung über ein geeignetes Sieb abgegossen und die im Sieb verbleibende Masse getrocknet. Der Gelwert wurde als Quotient aus der nach dem Kochen und Trocknen zurückbleibenden Masse und der Ausgangsmasse der Probe bestimmt. Gelwerte größer 60% sind übliche Werte für vernetzte Produkte.

Es konnte nachgewiesen werden, dass sowohl die unbeschichteten (Gelwert=74%), als auch die beschichteten Dyneemafasern (Gelwert=91%) strahlenvernetzbar waren. Die unbeschichteten Innegrafasern waren dagegen nicht strahlenvernetzbar (Gelwert=0%), wohl aber die aufgebrauchte Beschichtung mit einem Gelwert von bis zu 72%.

Die Strahlenvernetzung der beschichteten Innegrafasern erhöhte die Temperaturstabilität in Bezug auf die Höchstzugkraftdehnung (Abb. 2) erheblich.

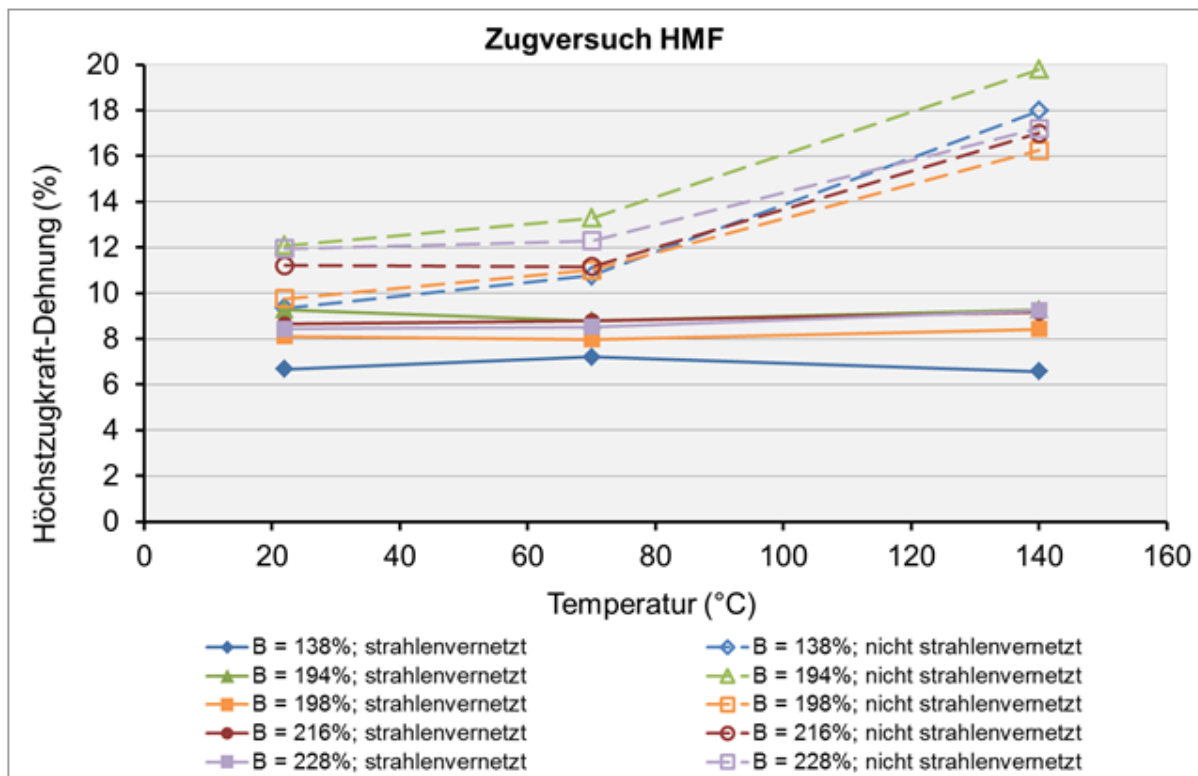


Abbildung 2: Temperaturabhängigkeit der Höchstzugkraftdehnung der beschichteten Innegragarne

Die textile Verarbeitbarkeit von beschichteten und noch nicht strahlenvernetzten Garnmustern der Dyneemafaser 429dtef264 wurde in Kombination mit jeweils einer der drei Verstärkungsfasern Glasfasern, Aramid und Carbonfasern an einer Rundstrickmaschine nachgewiesen. Die Muster konnten in begrenztem Maße bei 130°C thermisch fixiert werden. Dabei wurde die Dehnfähigkeit der Gestricke stark reduziert, da die aufgeschmolzene PP-Beschichtung das Gestrick versteifte.

Die Strahlenvernetzung reduzierte die Höchstzugkraft und die Bruchdehnung der beschichteten Innegra- und Dyneema-Hochmodulfasern (Abb. 3 und Abb.4).

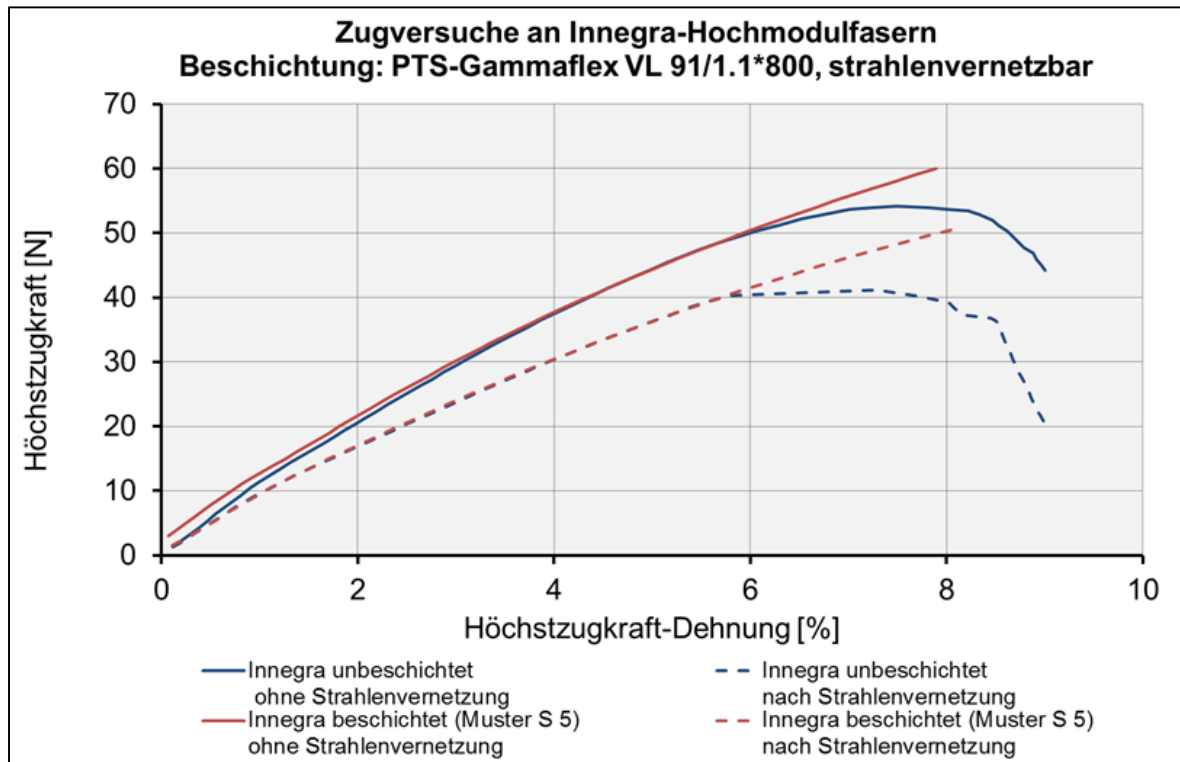


Abbildung 3: Zugversuche an unbeschichteten und beschichteten Innegra-Hochmodulfasern,  $B=373\%$ ; Vergleich: unvernetzt - strahlenvernetzt

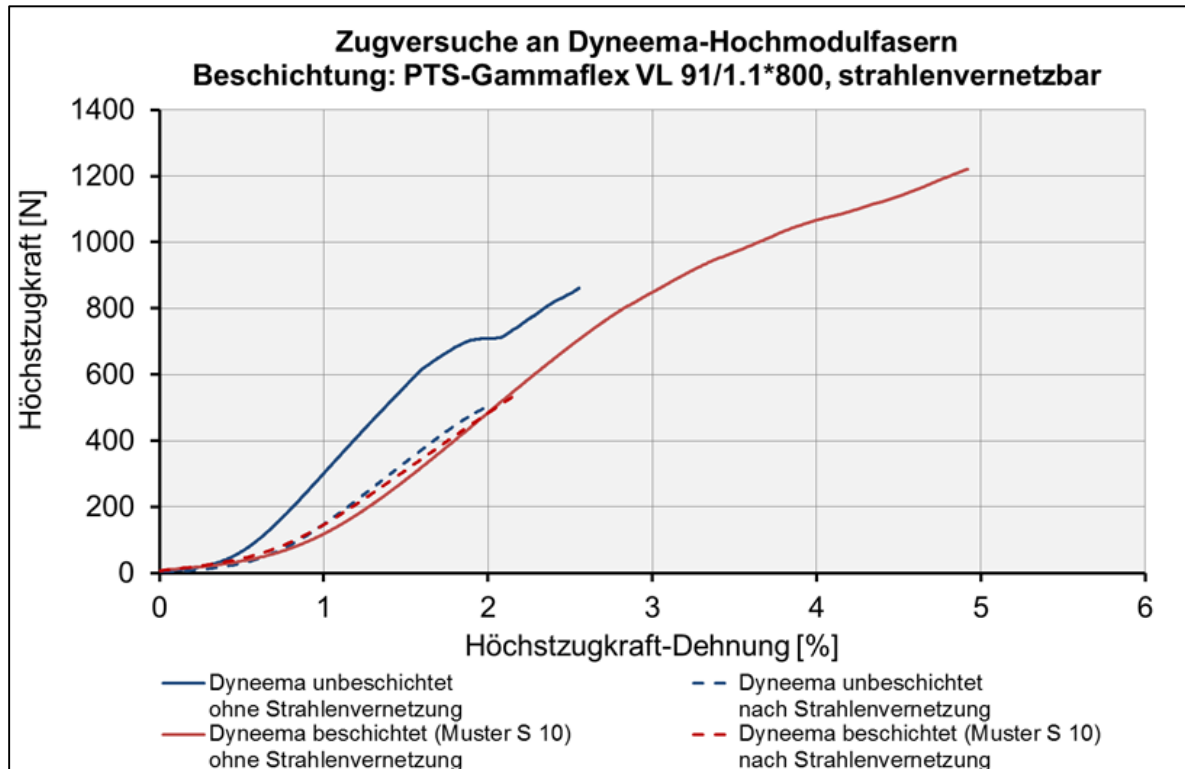


Abbildung 4: Zugversuche an unbeschichteten und beschichteten Dyneema-Hochmodulfasern Nr. 1,  $B=111\%$ ; Vergleich: unvernetzt - strahlenvernetzt

Die geplante Vorgehensweise das Matrixmaterial durch Monofile und beschichtete Verstärkungsfasern für die Herstellung von FVW-Mustern im Wechsel mit Carbonfaser-Rovings ausreichend zur Verfügung zu stellen, erwies sich als nicht realisierbar. Die Fertigung von FVW nur aus beschichteten Innegra-Hochmodulfasern war dagegen erfolgreich. Durch die Strahlenvernetzung waren erhebliche Festigkeitssteigerungen nachzuweisen.

Der Einsatz der entwickelten Verbundmaterialien ist hauptsächlich im Leichtbau vorgesehen.

## Danksagung

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das IGF Vorhaben 17861 N/1 der Forschungsvereinigung  
Forschungskuratorium Textil e.V., Reinhardtstraße 12-14,  
10117 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 Deutschen  
Bundestages gefördert.

Für diese Förderung danken wir.

Unser Dank für die freundliche und tatkräftige Unterstützung gilt außerdem folgenden Firmen:

- ACC Technologies GmbH & Co. KG, Sindelfingen
- Brückner Textile Technologies, Leonberg
- Buck GmbH & Co. KG, Bondorf
- CHT R. Beitlich GmbH, Tübingen
- Dienes Apparatebau GmbH, Offenbach
- Gustav Gerster GmbH & Co. KG,
- Ettlin Spinnerei und Weberei Produktions GmbH & Co. KG, Karlsruhe
- Morton Extrusionstechnik GmbH
- Plastic Technologie Service (PTS) Marketing- & Vertriebs-GmbH
- PolyMedics Innovations GmbH, Denkendorf

Der Schlussbericht des Forschungsvorhabens „Entwicklung funktioneller Beschichtungen für thermoplastische Hochmodul-fasern zur Herstellung kostengünstiger Faserverbundwerkstoffe mit hoher Schlagzähigkeit“ (IGF-Nr. 17861 N /1) ist am Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, Denkendorf erhältlich.