

# AutoPreforms

## Gemeinsamer Abschlussbericht

(Forschungsstellen 1, 2, 3, 4 und 5 von 5)

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWI über die



geförderten Forschungsvorhaben

## **Wirtschaftliche Herstellung von Faserverbundbauteilen mit Hilfe automatisiert hergestellter textiler Preforms**

**IfU Institut für Unternehmenskybernetik e. V.**

Wissenschaftlicher Leiter: Prof. Dr.-Ing. Klaus Henning  
Projektleiter: Drs. MIB Paul Flachskampf

Schurzelter Straße 25  
52074 Aachen

AiF Mitgliedsvereinigung: Institut für Unternehmenskybernetik e. V.  
AiF Vorhaben-Nr: 14420 N  
Bewilligungszeitraum: 01.06.2005 – 31.05.2007

Aachen, Februar 2008



**Prof. Dr.-Ing. Klaus Henning**

Inhaber des Lehrstuhls Informatik im Maschinenbau (IMA), Leiter des Zentrums für Lern- und Wissensmanagement (ZLW) und des Instituts für Unternehmenskybernetik e. V. (IfU) an der RWTH Aachen.

**Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries**

Direktor des Instituts für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen

**Drs. MIB Paul Flachskampf**

Geschäftsführer des Instituts für Unternehmenskybernetik e. V. (IfU) an der RWTH Aachen

**Mitarbeiter des Abschlussberichts:**

Tim Grundmann, Institut für Textiltechnik  
Eckart Hauck, Institut für Unternehmenskybernetik e.V.  
Prof. Stefan Böhm, Institut für Füge- und Schweißtechnik  
Gregor Wisner, Institut für Füge und Schweißtechnik  
Prof. Burkhard Corves, Institut für Getriebetechnik und Maschinendynamik  
Dr. Matthias Hüsing, Institut für Getriebetechnik und Maschinendynamik  
Mohannad Tarsha Kordi, Institut für Getriebetechnik und Maschinendynamik  
Prof. Christian Brecher, Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen Aachen  
Ben Schröter, Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen Aachen  
Tobias Krempf, Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen Aachen

Kontakt:  
Institut für Unternehmenskybernetik e.V.  
Schurzelter Straße 25  
D-52074 Aachen  
Tel.: 0241/80-911-70  
Fax.: 0241/80-911-22  
E-Mail: [info@ifu.rwth-aachen.de](mailto:info@ifu.rwth-aachen.de)  
Internet: <http://www.ifu.rwth-aachen.de>

Unternehmenskybernetik in der Praxis

Band 14

**Klaus Henning, Thomas Gries, Paul Flachskampf (Hrsg.)**

**Wirtschaftliche Herstellung von  
Faserverbundbauteilen mit Hilfe  
automatisiert hergestellter textiler Preforms**

Shaker Verlag  
Aachen 2008

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Copyright Shaker Verlag 2008

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-7133-6

ISSN 1615-8431

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Vorwort**

Hochleistungsfähige Werkstoffe sind für eine fortschrittliche und umweltverträgliche Automobilindustrie von größter Bedeutung. Bei ständig steigenden Anforderungen sowohl an die Sicherheit als auch an die Umweltfreundlichkeit von Automobilen werden die leichten und gleichzeitig stabilen Faserverbundkunststoffe (FVK) für die Automobilindustrie immer attraktiver. Jedoch ist die Produktion von FVK Bauteilen bisher noch nicht hinreichend automatisiert, um für einen Einsatz in großen Serien wirtschaftlich in Frage zu kommen. Im Rahmen des Projekts AutoPreforms „Wirtschaftliche Herstellung von Faserverbundbauteilen mit Hilfe automatisiert hergestellter textiler Preforms“ wurde deshalb eine Prozesskette für die automatisierte Produktion von textilen Preforms entwickelt und getestet. Dabei hat sich gezeigt, dass durch den Einsatz von Näh- und Kleb-, sowie innovativen Handhabungstechniken ein Automatisierungsgrad erreicht werden kann, der schon heute die Produktion von FVK Bauteilen für kleinere Serien wirtschaftlich macht.

Für die tatkräftige und freundliche Unterstützung im Rahmen des Projekts, das mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die AiF gefördert wurde, danken wir zunächst unseren Projektpartnern, die uns sowohl im Projekt als auch bei der Erstellung dieses Berichts unterstützt haben: Herrn *Tim Grundmann* vom Institut für Textiltechnik Aachen (ITA), Herrn *Eckart Hauck* vom Institut für Unternehmenskybernetik (IfU), Herrn *Professor Stefan Böhm* und Herrn *Gregor Wisner* vom Institut für Füge- und Schweißtechnik Braunschweig (ifs), Herrn *Professor Burkard Corves*, Herrn *Dr. Matthias Hüsing* und Herrn *Mohannad Tarsha Kordi* vom Institut für Getriebetechnik und Maschinendynamik Aachen (IGM) und Herrn *Professor Christian Brecher*, Herrn *Ben Schröter* sowie Herrn *Tobias Kempf* vom Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen Aachen (WZL) und mit ihnen all denjenigen die sich aktiv in das Projekt einbrachten und ihr Interesse an AutoPreforms zeigten.

Aachen, Februar 2008

Die Herausgeber

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Henning, Wissenschaftlicher Leiter des Instituts für Unternehmenskybernetik an der RWTH Aachen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries, Institutsleiter des Instituts für Textiltechnik Aachen

Drs. MIB Paul Flachskampf, Geschäftsführer des Instituts für Unternehmenskybernetik an der RWTH Aachen



## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>2</b>
1.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung .....	2
1.2 Forschungsziel .....	3
1.2.1 Angestrebte Forschungsergebnisse.....	3
1.2.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse.....	4
1.3 Vorgehensweise .....	6
1.4 Aufbau des Berichts .....	7
<b>2. Stand der Forschung .....</b>	<b>9</b>
2.1 Einleitung .....	9
2.2 Herstellung textiler Preforms .....	9
2.2.1 Gesamtprozess .....	9
2.2.2 Zuschnitt .....	12
2.2.3 Handhabung .....	13
2.2.4 Sensorische Überwachung .....	14
2.2.5 Konditionierung .....	15
2.2.6 Nähtechnik .....	16
<b>3. Das Demonstrationsbauteil.....</b>	<b>20</b>
3.1 Anforderungen an das Bauteil .....	21
3.2 Anbauteile .....	22
3.3 CFK-Konstruktion .....	23
3.3.1 Dachschale .....	24
3.3.2 Metalleinlegteile .....	25
3.3.3 Versteifungselemente.....	28
3.3.4 Seitenflansche .....	33
<b>4. Die automatisierte Herstellung textiler Preforms.....</b>	<b>35</b>
4.1 Preforming für Faserverbundkunststoffe .....	35
4.2 Konzeption des Prozesses .....	36
4.2.1 Die Klassische Prozesskette.....	37

4.2.2 Die automatisierte Prozesskette .....	37
4.3 Das Preformcenter .....	39
4.4 Automatisierungsszenarien .....	41
4.4.1 Überblick.....	41
4.4.2 Rein manuelles Herstellungsszenario (I) .....	42
4.4.3 Rein maschinelles Herstellungsszenario (II) .....	43
4.4.4 Teilautomatisches Herstellungsszenario (III) .....	44
<b>5. Die Einzeltechnologien .....</b>	<b>46</b>
5.1 Zuschnitt .....	46
5.1.1 Problemstellung .....	46
5.1.2 CAD-Zuschnittzeichnungen .....	46
5.1.3 Der Cuttertisch .....	47
5.1.4 Prozessablauf .....	48
5.1.5 Schnittqualität .....	50
5.1.6 Zusammenfassung.....	52
5.2 Handhabung .....	52
5.2.1 Problemstellung und Stand der Technik .....	52
5.2.2 Vorgehen.....	54
5.2.3 Entwicklung des adaptiv multifunktionalen Endeffektors (AME) .....	56
5.2.4 Entwicklung des mitgeführten Doppelwerkzeugwechsler (DWW) .....	69
5.2.5 Ergebnisse .....	73
5.2.6 Realisierung und Verifikation.....	75
5.3 Sensorische Überwachung .....	77
5.3.1 Problemstellung .....	77
5.3.2 Verfahrensprinzipien.....	79
5.3.3 Verwendete Sensorik .....	82
5.3.4 Aufbau des Gesamtsystems .....	83
5.3.5 Lagekorrektur.....	85
5.3.6 Faltenerkennung.....	97
5.4 Konditionierung und Schnittkantensicherung durch Klebtechnik .....	101
5.4.1 Problemstellung und Stand der Technik .....	101
5.4.2 Klebstoffauswahl .....	108

5.4.3 Experimentelle Untersuchungen.....	110
5.4.4 Ergebnisse und Analyse.....	125
5.4.5 Anlagentechnik zur Konditionierung und Schnittkantensicherung im ITA Preformcenter.....	141
5.5 Nähtechnik.....	145
5.5.1 Problemstellung.....	145
5.5.2 Robotergeführte einseitige Nähverfahren.....	145
5.5.3 Aufbau Blindstichnähkopf.....	149
5.5.4 Ausgleichsbewegung.....	151
5.5.5 Stichbildung.....	155
5.5.6 Typische Fehler bei der Stichbildung.....	158
5.5.7 Nähprozessablauf.....	162
5.5.8 Experimentelle Ermittlung der Grenzen der Nähtechnologie.....	164
<b>6. Fertigung des Demonstrationsbauteils.....</b>	<b>175</b>
<b>7. Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit.....</b>	<b>180</b>
7.1 Einleitung.....	180
7.2 Erweitertes Wirtschaftlichkeitsanalyseverfahren zur Identifizierung des Szenarios mit der höchsten Wirtschaftlichkeitserwartung.....	181
7.2.1 Ex ante Bewertung der Szenarien.....	181
7.2.2 Ergebnis der ex ante NOWS-Bewertung.....	184
7.3 Traditionelle Wirtschaftlichkeitsanalyseverfahren.....	185
7.3.1 Überblick.....	185
7.3.2 Kapitalwertmethode.....	185
7.3.3 Return on Investment (ROI).....	186
7.4 Ergebnis der ex post NOWS-Bewertung.....	188
<b>8. Umsetzung der Forschungsergebnisse.....</b>	<b>189</b>
8.1 Allgemein.....	189
8.2 Vorträge.....	189
8.3 Veröffentlichungen.....	190
<b>9. Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>191</b>

<b>10.</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>195</b>
<b>11.</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>196</b>
<b>12.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>202</b>
<b>13.</b>	<b>Durchführende Forschungsstellen .....</b>	<b>208</b>