

**„Innovatives Preformingverfahren zur Herstellung endlosfaserverstärkter
CFK-Schalenbauteile“**

**“Innovative Preforming-Process for the Manufacturing of Continuous
Fiber Reinforced CFRP-Shell-Components.”**

Von der Fakultät für Maschinenwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Maximilian Marquart

Berichter: Univ.-Prof. Professor. h.c. (RU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Thomas Gries
Prof. Dr. sc. Techn. Paolo Ermanni

Tag der mündlichen Prüfung: 30. August 2016

Textiltechnik/Textile Technology

herausgegeben von

Univ. Prof. Professor h.c. (RU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries

Maximilian Marquart

**Innovatives Preformingverfahren zur Herstellung
endlosfaserverstärkter CFK-Schalenbauteile**

Shaker Verlag
Aachen 2017

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.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2016)

Copyright Shaker Verlag 2017

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5059-2

ISSN 1618-8152

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Teile dieser Arbeit basieren auf den Ergebnissen der von mir betreuten studentischen Arbeiten. Eine bibliographische Auflistung ist am Ende des Literaturverzeichnisses angehängt.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist während meiner Beschäftigung als Doktorand bei der BMW Group in Zusammenarbeit mit dem Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University-standen.

Ich bedanke mich bei Herrn Professor Thomas Gries am ITA, Herrn Hans-Peter Lang bei BMW sowie Herrn Professor Simon Bickerton für die hervorragende Betreuung. Des Weiteren danke ich meinen Kolleginnen und Kollegen sowohl am ITA als auch bei BMW sowie den Studenten, die mich immer unterstützt haben, für die gute Zusammenarbeit.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern sowie meiner Freundin, von denen ich stets bedingungslos Rückhalt und Unterstützung erfahren habe.

Maximilian Marquart

München, im Dezember 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Motivatoren zum Einsatz von CFK im Automobilbereich	3
1.2	Ausgangssituation	4
1.3	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	9
2	Stand der Technik	12
2.1	Technologien zur direkten Preformherstellung	12
2.2	Technologien zur sequentiellen Preformherstellung	24
2.3	Preformfixierung	28
2.4	Beispiele für automatisierte Preformprozessketten	32
2.5	Technologieentwicklung und Technologiereife	36
2.6	Zusammenfassung	39
3	Anpassung Reifegradmodell	41
3.1	Anpassung Reifekriterienkatalog	42
3.2	Anpassung Reifegradstufen	46
3.3	Gewichtung der Reifekriterien	48
3.4	Ableitung der Entwicklungsschwerpunkte	50
4	Halbzeugentwicklung	53
4.1	Material und Methoden	54
4.2	Systemanalyse Injizierbarkeit	58
4.3	Einbringen von Fließkanälen zwischen die Tapes	63
4.3.1	Fließkanalstabilität	66
4.3.2	Einfluss der Fließkanalbreite	68
4.4	Einbringen von Fließkanälen in die Tapes	76
4.4.1	Produktentwicklung	77
4.4.2	Auswahl Fixtapebreite	87
4.4.3	Herstellung und Absicherung	95
4.5	Zusammenfassung	114
5	Materialcharakterisierung	116
5.1	Versuchsplanung	116
5.1.1	Prüfmethoden	117
5.1.2	Versuchsplan	120

5.2	V Versuchsergebnisse und Diskussion	122
5.3	Zusammenfassung	129
6	Prozessentwicklung	131
6.1	Vergleich 2D- und 3D-Faserablage	131
6.1.1	Demonstratorbauteil und Konzept	132
6.1.2	Virtuelle Abbildung	138
6.1.3	Vergleich Qualität	140
6.1.4	Vergleich MEQ und Produktivität	152
6.1.5	Erörterung	155
6.2	Stellhebelanalyse Produktivität	157
6.3	Anlagenkonzept	167
6.4	Zusammenfassung	173
7	Bewertung	176
7.1	Bewertung Wirtschaftlichkeit	177
7.1.1	Prämissen und Randbedingungen	177
7.1.2	Halbzeugkosten Fixtape	185
7.1.3	Proportionale Herstellkosten	192
7.1.4	Vollkosten	198
7.2	Bewertung Halbzeug	204
7.3	Bewertung Verfahren	208
8	Zusammenfassung	214
9	Ausblick	219
10	Summary	223
11	Literaturverzeichnis	227
12	Betreute studentische Arbeiten	240
13	Abkürzungsverzeichnis	242
14	Anhang	244