

Textiltechnik/Textile Technology

herausgegeben von

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

Tim Ellringmann

**Potenzialbewertung von Carbonfasern
aus neuen Precursoren**

Shaker Verlag
Aachen 2015

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, 2015)

Copyright Shaker Verlag 2015

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3752-4

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

Vorwort

Mein großer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Prof. h.c. (RU) Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Thomas Gries für sein Vertrauen, mir die Möglichkeit einer externen Promotion am Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen (ITA) zu eröffnen. Sein Streben nach der ständigen Weiterentwicklung des ITA ist für mich vorbildlich.

Ohne meinen Betreuer Priv.-Doz. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Gunnar Seide hätte ich das Forschungsfeld der neuen Precursors nicht ergründet. Ich danke ihm für seine kontinuierliche Förderung, die Gewährung von Forschungsfreiräumen und seine motivierende Mitarbeiterführung.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kai-Uwe Schröder danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes und für sein Interesse am Thema. Herrn Univ.-Prof. Ph.D. Georg May möchte ich für die kurzfristige Übernahme des Beisitzes und seine motivierende Ausstrahlung in der Prüfungssituation danken.

Die Zusammenarbeit am Institut habe ich als von tiefer Kollegialität und Offenheit geprägt empfunden. Hierfür danke ich insbesondere Moritz Warnecke, Christian Wilms, Gisa Wortberg und Andreas De Palmenaer sowie den Kollegen aus Sekretariat, Labor, Technikum und Bibliothek.

Für die gegenseitige Motivation danke ich insbesondere meinen Fellow-im-Leave COLleagues Sebastian Gatzer, Stefan Reimig, Jingnan Zhu und Fehmi Yüksel. Der Teamgeist in Raum 5.24 hat die langen Tage und Nächte zu einer ganz besonderen Zeit gemacht. Meine Freunde Benjamin Cassel, Johannes Metten und Matthias George haben mich die Welt außerhalb der Wissenschaft nicht vergessen lassen.

Meine Eltern haben mir Leistung vorgelebt und mich bei meinen Wegen bestärkt und unterstützt. Ohne ihre immerwährende Förderung wäre meine Ausbildung in dieser Form nicht möglich gewesen, wofür ich ihnen von Herzen danke. Auch meine Brüder haben mir erfolgreiche Lebenswege aufgezeigt und mir so eine einfache Orientierung ermöglicht.

Mein besonderer Dank gilt meiner Verlobten Steffi. Sie hat mir Rückhalt und Liebe in allen Phasen dieser Arbeit gegeben, welche ich ihr widmen möchte.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Forschungsfragen	1
2	Der Carbonfasermarkt	5
2.1	Anwendungsfelder der Carbonfaser	5
2.2	Carbonfasern in industrieller Produktion	9
2.2.1	Polyacrylnitril (PAN)-basiert	11
2.2.2	Pech-basiert	13
2.2.3	Viskose-basiert	14
2.3	Hersteller und Produktionskapazitäten	16
2.4	Wachstumspotenziale und -barrieren	21
2.5	Neue Precursoren zur Kostenreduzierung von Carbonfasern	26
3	Herstellungsprozess von Carbonfasern	31
3.1	Prozesskette für Polyacrylnitril (PAN)-basierte Carbonfasern	31
3.1.1	Precursorherstellung	32
3.1.2	Umwandlung	37
3.2	Prozessmodifikation für Carbonfasern aus neuen Precursoren	41
3.2.1	Lyocell	41
3.2.2	Polybenzobisoxazol (PBO)	52
3.2.3	Polyethylen (PE)	59
3.2.4	Schmelzspinnbares Polyacrylnitril	70
3.3	Zusammenfassung	84
4	Eigenschaften von Carbonfasern	86
4.1	Anwendungsorientierte Charakterisierungsgrößen	86
4.2	Eigenschaften industriell verfügbarer Carbonfasern aus PAN	86
4.3	Eigenschaften von Carbonfasern aus neuen Precursoren	87
4.3.1	Lyocell	87
4.3.2	PBO	90
4.3.3	Polyethylen	92
4.3.4	Schmelzspinnbares Polyacrylnitril	93
5	Modellierung von Herstellkosten	97
5.1	Herstellkosten	97
5.1.1	Definition und Abgrenzung	97
5.1.2	Kostenarten im Fertigungsprozess	99

5.1.3	Herstellkosten von Carbonfasern.....	102
5.2	Modellierung.....	108
5.2.1	Modellbegriff und -arten.....	108
5.2.2	Mathematische Modellierung.....	110
5.2.3	Fertigungskostenmodelle.....	112
5.3	Analysemethoden.....	119
5.3.1	Modellvalidierung.....	120
5.3.2	Sensitivitätsanalyse.....	120
5.3.3	Szenarioanalyse.....	121
6	Modulares Kostenmodell für die Carbonfaserherstellung.....	123
6.1	Auswahl relevanter Kostenarten.....	127
6.2	Modularisierung des Herstellungsprozesses.....	129
6.3	Verknüpfung von Prozess und Kosten.....	134
6.3.1	Allgemeine Eingangsgrößen.....	135
6.3.2	Modulspezifische Eingangsgrößen.....	136
6.3.3	Berechnungslogiken.....	138
6.3.4	Faktorkosten.....	147
7	Methodik zur Potenzialbewertung neuer Carbonfasern.....	149
7.1	Bewertung der Referenzfaser.....	151
7.1.1	Auswahl der Referenzfaser und ihrer Materialeigenschaften....	151
7.1.2	Definition des Herstellungsprozesses.....	153
7.1.3	Berechnung der Herstellkosten und Priorisierung von Ansatzpunkten zur Kostenoptimierung.....	154
7.2	Bewertung alternativer Carbonfasern aus neuen Precursoren.....	156
7.2.1	Auswahl der Alternativfasern.....	156
7.2.2	Definition von Herstellungsprozess und Materialeigenschaften	157
7.2.3	Berechnung des Kostenpotenzials.....	158
7.3	Potenzialbewertung zum Markteintritt.....	159
7.3.1	Eingrenzung möglicher Hersteller.....	160
7.3.2	Auswahl der Markteintrittsstrategie.....	161
7.3.3	Prüfung von Markteintrittsbarrieren.....	162
7.3.4	Operative Detaillierung.....	163
8	Potenzial von Carbonfasern aus neuen Precursoren.....	165
8.1	Bewertung der PAN-basierten Referenzfaser.....	165

8.1.1	Auswahl der Carbonfaser	165
8.1.2	Herstellungsprozess der Referenzfaser	168
8.1.3	Herstellkosten einer PAN-basierten Carbonfaser und Ansatzpunkte zur Kostenoptimierung	186
8.2	Carbonfasern auf Basis neuer Precursoren	199
8.2.1	Auswahl der Alternativfasern	199
8.2.2	Definition von Herstellungsprozess und Materialeigenschaften	206
8.2.3	Herstellkosten der Alternativfasern	235
8.3	Potenzialbewertung zum Markteintritt	240
8.3.1	Eingrenzung möglicher Hersteller	242
8.3.2	Auswahl der Markteintrittsstrategie	243
8.3.3	Prüfung von Markteintrittsbarrieren	247
8.3.4	Operative Detaillierung	251
8.3.5	Fazit	256
9	Validierung des Modells und Ausblick	258
9.1	Diskussion der Ergebnisse anhand von Marktdaten	258
9.2	Vergleich der Ergebnisse mit bisherigen Veröffentlichungen	260
9.3	Einordnung der Erkenntnisse und Ausblick	262
10	Zusammenfassung	266
11	Literaturverzeichnis	271
12	Abkürzungsverzeichnis	300
13	Abbildungsverzeichnis	302
14	Tabellenverzeichnis	312
15	Anhang	315