

Inhaltsverzeichnis

Die Autoren	V
Vorwort	VII
Danksagung	XI
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
2 Kohlenstoff und seine Eigenschaften	5
2.1 Struktur des Kohlenstoffatoms und Atommodell des Kohlenstoffs	6
2.1.1 <i>Rutherfordsches</i> und <i>Bohrsches</i> Atommodell	6
2.1.2 Atomorbitale und Hybridisierung	8
2.2 Modifikationen des Kohlenstoffs	10
2.3 Erscheinungsformen des Kohlenstoffs	12
2.3.1 Diamant – die Diamant-Struktur (sp^3)	13
2.3.2 Graphit – die Graphit-Struktur (sp^2)	14
2.3.3 Dreifachbindung (sp^1)	14
2.3.4 Weitere Formen des Kohlenstoffs	14
2.3.4.1 Fullerene	15
2.3.4.2 Carbo-Nano-Tubes	15
2.3.4.3 Carbon-Black	15
2.3.4.4 Aktivkohle	15
2.3.4.5 Kohlenstoff-Fasern	16
3 Kohlenstofffasern	19
3.1 Precursor-Herstellung	20
3.1.1 Nassspinnen (Wet-Spinning)	21
3.1.2 Schmelzspinnen (Melt-Spinning)	23

3.1.3	Precursor	24
3.1.3.1	Polyacrylnitril (PAN)	24
3.1.3.2	Mesophasen-Pech	26
3.1.3.3	Weitere Precursoren	27
3.2	Herstellung von Kohlenstofffasern	28
3.2.1	Precursor-Stabilisierung/Stabilisierungsprozess	29
3.2.2	Carbonisierung und Graphitisierung	33
3.3	Oberflächenbehandlung und Faserschlichte	36
3.3.1	Sizing (Präparation)	38
3.3.2	Sizing-Level und Sizing-Typen	42
3.4	Eigenschaften und Typen	45
3.4.1	Eigenschaften von Kohlenstofffasern	45
3.4.2	Kohlenstofffaser-Typen	54
3.5	Hersteller und Kosten	60
3.5.1	Hersteller von Precursoren & Carbonfasern	60
3.5.2	Herstellkosten	62
3.5.3	Herstellungskapazitäten	65
3.5.4	Anbieter von Prozesstechnologien	69
4	Charakterisierung von Kohlenstofffasern	81
4.1	Prüfverfahren am trockenen Garn	83
4.1.1	Dichte-Bestimmung	83
4.1.2	Bestimmung der linearen Dichte	85
4.1.3	Bestimmung des Filamentdurchmessers	86
4.1.4	Bestimmung des Präparationsmassenanteils	87
4.1.5	Bestimmung mechanischer Kennwerte am trockenen Garn	88
4.1.6	Roving-Test	89
4.1.7	Drape-Test	90
4.1.8	Oberflächenaktivität und Imprägnierfähigkeit	92
4.2	Prüfverfahren am imprägnierten Garn	93
4.2.1	Bestimmung der Zugfestigkeit	93
4.2.2	Faser-Matrix-Anbindung	94
4.2.2.1	Prüfung mittels Pull-Out-Test	95
4.2.2.2	Prüfung mittels Push-Out-Test	98
4.2.2.3	Fragmentierungstest	99
4.2.2.4	Broutman-Test	100
4.2.2.5	Prüfung im Rasterelektronen-Mikroskop	100

4.3	Spektroskopische Prüfverfahren für Kohlenstofffasern	101
4.3.1	Chemische Charakterisierung von Kohlenstofffasern und ihrer Precursoren	102
4.3.1.1	Elementaranalyse	102
4.3.1.2	Massenspektroskopie	103
4.3.1.3	Kernresonanzspektroskopie – NMR	104
4.3.1.4	Fourier-Transformation-Infrarotspektroskopie, IR-Spektroskopie	105
4.3.2	Chemische Strukturaufklärung von Kohlenstofffasern	106
4.3.2.1	Raman-Spektroskopie	106
4.3.2.2	Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie, XPS	109
5	Anwendungen von Carbonfasern	113
5.1	Einleitung	113
5.2	Trockene Faserhalbzeuge	115
5.2.1	PREOX-Fasern	115
5.2.2	Kohlenstoff-Fasern	117
5.2.2.1	Kohlenstoff-Fasern, endlos	117
5.2.2.2	Kohlenstoff-Fasern, geschnitten oder gemahlen	134
5.3	Vorimprägnierte Faserhalbzeuge	142
5.3.1	Anwendungen UD-Prepreg (Thermoset)	143
5.3.2	Anwendungen Gewebe- und Gelege-Prepreg (Thermoset)	144
5.3.3	Anwendung C-SMC/C-BMC	148
5.3.4	Anwendung Organotapes	150
5.3.5	Anwendung Organoblech	152
6	Recycling & Nachhaltigkeit	155
6.1	Einleitung	155
6.2	Recycling-Kreislauf und Herausforderungen	159
6.2.1	Herausforderungen an Prozess und Anlagen	161
6.2.2	Herausforderung Faserqualität	163
6.3	Herausforderung Abfallaufbereitung	169
6.4	Recyclingverfahren für Kohlenstofffasern und CFK	172
6.4.1	Mechanische Zerkleinerung	172
6.4.2	Pyrolyse-Verfahren	173
6.4.3	Wirbelschicht-Verfahren	175
6.4.4	Solvolyse	177
6.4.5	Chemische Direktnutzung	178
6.4.6	Elektrodynamische Fragmentierung	179

6.4.7	Neue Verfahren	180
6.4.8	Übersicht und Vergleich der Verfahren	181
6.4.9	Gefährdungen und Gesundheitsaspekte	182
6.5	rCF-Produkte und Anwendungen	183
6.6	Anbieter	188
6.7	Herausforderungen und Trend	189
7	Neue Entwicklungen	193
7.1	Alternative Precursoren	195
7.1.1	Polyethylen	195
7.1.2	Zellulose	196
7.1.3	Lignin	198
7.1.4	Textiles PAN	202
7.1.5	Lignin/PAN-Blends	202
7.1.6	Nanofasern und Kohlenstoff-Nanoröhrchen	203
7.2	Alternative Prozesse	203
7.2.1	Plasma-Oxidation	204
7.2.2	Einsatz von Additiven	204
7.2.3	Erdgas-Brenner	205
7.3	Ausblick	205
	Index	209