

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis.....	XII
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Technik und Forschung	2
2.1 Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe	2
2.1.1 Grundlagen	2
2.1.2 Kohlenstofffasern	2
2.1.3 Matrixsysteme.....	7
2.1.4 Anwendungen.....	10
2.2 Nah- und überkritisches Wasser	12
2.2.1 Eigenschaften	12
2.2.2 Anwendungen.....	14
2.2.3 Betriebsweise von Reaktoren.....	15
2.3 Recycling kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe	16
2.3.1 Rechtliche Bestimmungen in der Europäischen Union.....	16
2.3.2 Motivation und Herausforderung	16
2.3.3 Kategorisierung und Recyclingverfahren.....	18
2.3.4 Mechanisches Recycling	19
2.3.5 Thermisches Recycling.....	19
2.3.6 Chemisches Recycling	20
2.3.7 Weiterverarbeitung recycelter Kohlenstofffasern	27
2.3.8 Anwendungen für recycelte Kohlenstofffasern.....	28
2.3.9 Zusammenfassung und Ableitung von Entwicklungsdefiziten	28
3 Problemstellung und Zielsetzung	30
4 Materialien und Methoden.....	32
4.1 Versuchsmaterialien	32
4.1.1 Matrixsysteme.....	32
4.1.2 Faserhalbzeuge und Kohlenstofffasern.....	32
4.2 Probekörper.....	33
4.2.1 Epoxidharzproben.....	33
4.2.2 CFK-Proben	34
4.3 Geräte und Verfahren	37

4.3.1	Labor-Hochdruck-Autoklav	37
4.3.2	Zersetzungs- bzw. Hydrolyseversuche.....	38
4.3.3	Analyse hydrolytisch behandelter EP-Proben.....	40
4.3.4	Nachbehandlung der CFK-Proben bzw. C-Fasern	40
4.3.5	Analysegeräte und -verfahren	41
4.3.6	Prüfgeräte und -verfahren.....	43
4.4	Statistische Versuchsplanung	44
5	Analyse der unterkritischen hydrolytischen Zersetzung duromerer Matrixsysteme	47
5.1	Charakterisierung der hydrolytischen Zersetzung duromerer Matrixsysteme in der Wasserphase.....	47
5.1.1	Epoxidharzsystem 1 (Aminhärter).....	47
5.1.2	Epoxidharzsystem 2 (Anhydridhärter)	51
5.2	Charakterisierung der hydrolytischen Zersetzung duromerer Matrixsysteme in der Dampfphase	54
5.2.1	Epoxidharzsystem 1 (Aminhärter).....	54
5.2.2	Epoxidharzsystem 2 (Anhydridhärter)	57
5.3	Einordnung der Ergebnisse.....	59
5.4	Vergleich der Zersetzung der beiden EP-Systeme	60
5.4.1	Wasserphase.....	60
5.4.2	Dampfphase	62
5.5	Vergleich der Glasübergangstemperaturen nach hydrolytischer Behandlung.....	65
5.5.1	Wasserphase.....	65
5.5.2	Dampfphase	67
5.6	Vergleich der Zersetzung in der Wasserphase und der Dampfphase.....	70
5.6.1	EP-System 1 (Aminhärter).....	70
5.6.2	EP-System 2 (Anhydridhärter).....	71
5.7	Vergleich der Effekte.....	72
5.8	Fazit.....	74
6	Entwicklung eines Verfahrens zum Recycling von CFK mit unterkritischem Wasser	76
6.1	Übertragung der unterkritischen hydrolytischen Zersetzung duromerer Matrixsysteme auf CFK	76
6.1.1	CFK mit Epoxidharzsystem 1 (Aminhärter).....	77
6.1.2	CFK mit Epoxidharzsystem 2 (Anhydridhärter)	78
6.2	Entwicklung eines Verfahrens zur Nachbehandlung der hydrolytisch behandelten CFK-Proben bzw. der recycelten Kohlenstofffasern.....	79

6.2.1	CFK mit Epoxidharzsystem 1 (Aminhärter)	80
6.2.2	CFK mit Epoxidharzsystem 2 (Anhydridhärter)	83
6.3	Untersuchung der mechanischen Eigenschaften recycelter Kohlenstofffasern	87
6.4	Energiebedarf des Recyclingverfahrens	89
6.5	Fazit	90
7	Untersuchung der mechanischen Eigenschaften von CFK mit recycelten Kohlenstofffasern	93
7.1	Recyclingprozess	93
7.2	Wiederverarbeitung der recycelten Kohlenstofffasern	95
7.3	Ergebnisse und Diskussion	96
8	Bewertung der erzielten Erkenntnisse und Schlussfolgerungen zur Übertragung auf den industriellen Maßstab	99
9	Zusammenfassung und Ausblick	101
10	Literaturverzeichnis	104
11	Normen	118
12	Anhang	119
12.1	Ergebnisse der statistischen Versuchspläne	119
12.2	Exemplarische Temperatur-, Druck- und Leistungsverläufe	121
12.3	Maximale Druck-Temperatur-Paare der statistischen Versuchspläne	122
12.4	Ergebnisse der Versuche mit CFK	124
12.5	Maximale Druck-Temperatur-Paare der CFK-Versuche	125
12.6	Ergebnisse der t-Tests	126
12.7	Ergebnisse der chemischen Kalzinierung	128