

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Aufgabenstellung	1
2	Stand der Wissenschaft und Technik	5
2.1	Verbundwerkstoffe	5
2.2	Biobasierte Polymere	6
2.3	Polylactide	7
2.4	Fasern zur Verstärkung von Polymeren	11
2.5	Cellulosebasierte Fasern	12
2.6	Cellulosefaserverstärkte Thermoplaste	19
	2.6.1 Cellulosefaserverstärktes Polylactid	22
2.7	Faser-Matrix-Grenzfläche	23
	2.7.1 Haftvermittlung und Kompatibilisierung ausgehend von der Matrix	26
	2.7.2 Haftvermittlung und Kompatibilisierung ausgehend von der Faser	27
2.8	Pfropfungsreaktionen	30
	2.8.1 Pfropfungsreaktionen als Kompatibilisierungsmethode für cellulosefaserverstärkte PLA Verbundwerkstoffe	31
3	Aufbau der experimentellen Arbeit, Werkstoffe und deren Charakterisierung	34
3.1	Aufbau der experimentellen Arbeit	34
	3.1.1 Pfropfung von Celluloseeinzelfasern mit Lactid bzw. Milchsäure im Labormaßstab	35
	3.1.2 Pfropfung von Celluloseeinzelfasern mit Lactid im Technikumsmaßstab	37
3.2	Charakterisierung von Celluloseeinzelfasern	38
	3.2.1 Infrarotspektroskopie	38
	3.2.2 Tensiometermessung	39
	3.2.3 Rasterelektronenmikroskopie	41
	3.2.4 Rasterkraftmikroskopie	42
	3.2.5 Einzelfaserzugprüfung	42
	3.2.6 Einzelfaserauszugsversuch	43
	3.2.7 Faserauszugslängenmessung	44
3.3	Materialcharakterisierung von Verbundwerkstoffen	44
	3.3.1 Zugversuch	45

3.3.2	Pendelschlag	45
3.3.3	Torsionsprüfung	46
3.4	Statistische Auswertung	46
3.5	Verwendete Einsatzstoffe	48
4	Pfropfungsreaktionen mit Milchsäure und Lactid	49
4.1	Pfropfungsreaktion mit Milchsäure an Lyocellfasern	50
4.1.1	Diskussion und Zusammenfassung der Pfropfungsreaktion mit Milchsäure	51
4.2	Pfropfungsreaktion mit Lactid an Lyocellfasern	51
4.2.1	Nachweis einer kovalenten Pfropfung	52
4.2.2	Faser-Matrix-Scherfestigkeit von gepfropften Lyocellfasern und PLA	57
4.2.3	Einzelfaserzugfestigkeit von gepfropften Lyocellfasern	59
4.2.4	Diskussion der Pfropfungsreaktion mit Lactid an Lyocellfasern	63
4.2.5	Zusammenfassung der Pfropfungsreaktion mit Lactid an Lyocellfasern	69
4.3	Optimierung der Pfropfungsreaktion mit Lactid durch eine alkalische Vorbehandlung von Lyocellfasern	72
4.3.1	Nachweis einer kovalenten Pfropfung	73
4.3.2	Einzelfaserzugfestigkeit und Fehlstellenanalyse von alkalisch behandelten und gepfropften Lyocellfasern	76
4.3.3	Faser-Matrix-Scherfestigkeit von alkalisch behandelten und gepfropften Lyocellfasern	78
4.3.4	Diskussion der Optimierung der Pfropfungsreaktion mit Lactid durch eine alkalische Vorbehandlung von Lyocellfasern	81
4.3.5	Zusammenfassung der Optimierung der Pfropfungsreaktion mit Lactid durch eine alkalische Vorbehandlung von Lyocell-fasern	86
5	Spritzgegossene PLA-Verbundwerkstoffe mit modifizierten cellulosischen Fasern	89
5.1	Verbundwerkstoffe aus PLA und gepfropften Hanffasern	89
5.1.1	Verfahrenstechnische Aspekte bei der Pfropfung von Hanffasern mit Lactiden	89
5.1.2	Infrarotspektroskopie von mit L,L-Lactid bzw. D,D-Lactid gepfropften Hanffasern	92
5.1.3	Mechanische Eigenschaften von Verbundwerkstoffen aus mit Lactid gepfropften Hanffasern und PLA	93
5.1.4	Diskussion der Ergebnisse von Verbundwerkstoffen aus PLA und gepfropften Hanffasern	96
5.1.5	Zusammenfassung der Pfropfung von Hanffasern mit Lactiden	102

5.2	Verbundwerkstoffe aus PLA und gepfropften Lyocellfasern	104
5.2.1	Verfahrenstechnische Aspekte bei der Pfropfung von Lyocellfasern mit L,L-Lactid	104
5.2.2	Aufstellen eines Pfropfungsmodells in Abhängigkeit der Pfropfungsrezepturen	105
5.2.3	Infrarotspektroskopie von mit L,L-Lactid gepfropften Lyocellfaser 1,3 dtex	108
5.2.4	Einfluss der L,L-Lactid Pfropfung auf die Oberflächenenergie von Lyocellfaser 1,3 dtex	109
5.2.5	Morphologische Veränderungen von Lyocellfaser durch die Pfropfung mit L,L-Lactid	111
5.2.6	Mechanische Eigenschaften von PLA-Verbundwerkstoffen mit L,L-Lactid gepfropften Lyocellfaser 1,3 dtex	115
5.2.7	Diskussion der Modifizierung von Lyocellfaser 1,3 dtex für den Einsatz in PLA-Verbundwerkstoffen durch Pfropfung mit L,L-Lactid	118
5.2.8	Zusammenfassung der Modifizierung von Lyocellfaser 1,3 dtex für den Einsatz in PLA-Verbundwerkstoffen durch Pfropfung mit L,L-Lactid	125
5.3	Reduzierung von entgegen der Kompatibilisierung wirkenden Effekten durch Modifizierung der Pfropfung von L,L-Lactid auf Lyocellfasern und Herstellung von Verbundwerkstoffen	127
5.3.1	Einfluss einer Deaktivierung von Zinn(II) (2)ethylhexanoat nach der Pfropfungsreaktion auf die mechanischen Eigenschaften von Lyocell-PLA-Verbundwerkstoffen	127
5.3.2	Einfluss von ungebundenen Pfropfungsprodukten auf die mechanischen Eigenschaften von Lyocellfaser-PLA-Verbundwerkstoffen	129
5.3.3	Zusammenfassung der Reduzierung von entgegen der Kompatibilisierung wirkenden Effekten durch Modifizierung der Pfropfung von L,L-Lactid auf Lyocellfasern und Herstellung von Verbundwerkstoffen	132
6	Bewertung der gemessenen Werkstoffeigenschaften	135
6.1	Verbundwerkstoffmodelle basierend auf der Mischungsregel zum mechanischen Werkstoffverhalten bei Zugbelastung	135
6.2	Berechnung von Verbundwerkstoffeigenschaften auf der Basis der Werkstoffpaarung PLA und wirt orientierten Lyocellfasern 1,3 dtex	138
6.3	Berechnung von Verbundwerkstoffeigenschaften auf der Basis der Werkstoffpaarung PLA und wirt orientierter gepfropfter Lyocellfasern 1,3 dtex	141
6.4	Zusammenfassung der gemessenen Verbundwerkstoffeigenschaften und Vergleich mit berechneten Verbundwerkstoffeigenschaften	144

7	Zusammenfassung, Fazit und Ausblick	146
8	Anhang	151
A	Verzeichnisse	151
A-I	Abkürzungen	151
A-II	Symbole	152
A-III	Abbildungen	156
A-IV	Tabellen	163
A-V	Formeln	166
A-VI	Literaturverzeichnis	169
B	Werkstoffe und deren Charakterisierung	191
B-I	IR-Indexberechnung und Banden der IR-Spektren von Cellulose und PLA	191
B-II	Tensiometermessung	194
C	Pfropfungsreaktionen mit Lactid	196
C-I	Rezeptur und Versuchsparameter aller mit L,L-Lactid gepropften Lyocell 15,0 dtex Proben	196
C-II	IR-Spektren der mit Lactid gepropfte Lyocell 15,0 dtex und Daten zur IR-Indexaufstellung	199
C-III	Box-Whisker-Diagramme der Zugeigenschaften von alkalisch behandelten Lyocellfasern 15,0 dtex ermittelt in Einzelfaserzugprüfungen	201
C-IV	Box-Whisker-Diagramme der Zugeigenschaften von alkalisch behandelten und gepropften Lyocellfasern 15,0 dtex ermittelt in Einzelfaserzugprüfungen	204
D	Spritzgegossene PLA-Verbundwerkstoffe mit modifizierten cellulosischen Fasern	207
D-I	Mechanische Eigenschaften, Verteilung der Stichproben und statistisch signifikante Unterschiede zur Referenz von Verbundwerkstoffen mit unbehandelten oder gepropften Hanffasern und PLA-Matrix	207
D-II	Formeln zur Berechnung des Pfropfungsmodells	208
D-III	REM-Aufnahmen der Bruchflächen von bis zum Versagen auf Zug, Schlag oder Torsion belastete Probekörper von Verbundwerkstoffen mit gepropften Lyocellfasern 1,3 dtex und PLA	209
D-IV	DSC Messungen von Lyocell-PLA-Verbundwerkstoffen	211