

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 wirr orientierten Lyocellfasern 1,3 dtex | 138 |
| 6.3 | Berechnung von Verbundwerkstoffeigenschaften auf der Basis der Werkstoffpaarung PLA und wirr 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 gepfropften Lyocell 15,0 dtex Proben | 196 |
| C-II | IR-Spektren der mit Lactid gepfropfte 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 gepfropften 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 gepfropften 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 gepfropften Lyocellfasern 1,3 dtex und PLA | 209 |
| D-IV | DSC Messungen von Lyocell-PLA-Verbundwerkstoffen | 211 |