

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zielstellung der Arbeit	5
3	Stand der Technik	7
3.1	Naturfasern	7
3.1.1	Klassifizierung verschiedener Naturfasern	7
3.1.2	Struktur und Bestandteile verschiedener Faserpflanzen	8
3.1.3	Übersicht verschiedener Faserpflanzen	11
3.1.4	Herstellung pflanzlicher Naturfasern	14
3.1.5	Vorkommen und Handelsströme pflanzlicher Naturfasern	16
3.2	Polymere	18
3.2.1	Einteilung polymerer Matrices	18
3.2.2	Polypropylen	20
3.3	Naturfaserverstärkte Kunststoffe	22
3.3.1	Einsatzpotentiale von Naturfasern im Automobil	22
3.3.2	Fertigungsprozesse für naturfaserverstärkte Kunststoffe	23
3.3.3	Hybridvliesstoffe	26
3.3.4	Vliesbildung	27
3.3.5	Vliesverfestigung	28
3.4	Numerische Prozesssimulation	31
3.4.1	Finite-Elemente-Methode zur Umformsimulation	31
3.4.2	Modelle zur Werkstoffbeschreibung von Vliesstoffen	34
3.5	Recycling	38
4	Versuchsdurchführung	41
4.1	Verwendete Werkstoffe	41
4.1.1	Naturfasern	41

---

4.1.2	Polymere . . . . .	42
4.2	Herstellung von Versuchsmaterial . . . . .	43
4.2.1	Nadelvliese . . . . .	43
4.2.2	Faserstreuer . . . . .	45
4.2.3	Herstellung von Versuchsplatten . . . . .	45
4.2.4	Herstellung von Prüfkörpern . . . . .	46
4.3	Thermische Analytik . . . . .	46
4.3.1	Thermogravimetrie (TGA) . . . . .	46
4.3.2	Isotherme und dynamische Differenzkalorimetrie (DSC) . . . . .	47
4.4	Optische Analytik . . . . .	50
4.4.1	Rasterelektronenmikroskopie (REM) . . . . .	50
4.4.2	Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) . . . . .	51
4.4.3	Faseranalyse mittels Fibreshape . . . . .	51
4.5	Werkstoffprüfungen . . . . .	52
4.5.1	Eigenschaftsanforderungen . . . . .	52
4.5.2	Biegefestigkeit . . . . .	52
4.5.3	Zugfestigkeit . . . . .	53
4.5.4	Werkstoffdichte . . . . .	55
4.5.5	Untersuchung des Aufheizverhaltens . . . . .	55
4.5.6	Statistische Datenanalyse . . . . .	56
4.6	Simulationsdurchführung . . . . .	56
4.6.1	Beschreibung eines Vliesstoffes . . . . .	56
4.6.2	Plastizitätstheorie unter Berücksichtigung der Anisotropie . . . . .	57
4.6.3	Auswahl der Simulationskriterien . . . . .	59
4.6.4	Virtuelle Prozesskriterien . . . . .	60
4.6.5	Modellgeometrien zur Simulationsdurchführung . . . . .	61
5	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	63
5.1	Thermische Analyse der verwendeten Werkstoffe . . . . .	63
5.1.1	TGA der verwendeten Werkstoffe . . . . .	64
5.1.2	DSC von Polypropylen . . . . .	66
5.1.3	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	70
5.2	Rasterelektronenmikroskopische Werkstoffuntersuchungen . . . . .	72
5.2.1	REM-Analyse von Naturfasern . . . . .	72
5.2.2	Energiedispersive Röntgenaufnahmen . . . . .	76

---

5.2.3	Diskussion der rasurelektronenmikroskopischen Analysen . . . . .	80
5.3	Physikalische und mechanische Werkstoffcharakterisierung . . . . .	82
5.3.1	Aufheizverhalten von naturfaserverstärktem PP . . . . .	83
5.3.2	Rohdichtebestimmung von naturfaserverstärktem PP . . . . .	84
5.3.3	Diskussion: Aufheizverhalten und Rohdichtebestimmung . . . . .	86
5.3.4	Biegefestigkeit von naturfaserverstärktem PP mit steigenden Naturfaseranteilen . . . . .	87
5.3.5	Diskussion der Biegefestigkeitsprüfungen mit steigenden Naturfaseranteilen . . . . .	94
5.3.6	Einfluss der Produktionsrichtung . . . . .	95
5.3.7	Diskussion der Ergebnisse zum Einfluss der Produktionsrichtung . . . . .	102
5.3.8	Einfluss des Kompaktierungsgrades . . . . .	104
5.3.9	Diskussion der Ergebnisse zum Einfluss des Kompaktierungsgrades . . . . .	110
5.3.10	Einsatz von Deckvliesen . . . . .	111
5.3.11	Diskussion der Ergebnisse zum Einsatz von Deckvliesen . . . . .	120
5.3.12	Bestimmung der Zugfestigkeit von flachfaserverstärktem PP . . . . .	122
5.3.13	Diskussion der Ergebnisse von Zugversuchsreihen . . . . .	125
5.3.14	Schlussfolgerungen der physikalischen und mechanischen Werkstoffcharakterisierungen . . . . .	126
5.4	Bauteilprüfungen . . . . .	128
5.4.1	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	129
5.5	Untersuchung von Werkstoffen mit Recykatanteilen . . . . .	130
5.5.1	Ermittlung der Biegefestigkeiten und Elastizitätsmoduln . . . . .	131
5.5.2	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	134
5.6	Rapsfaserverstärktes Polypropylen . . . . .	137
5.6.1	Ermittlung der Biegefestigkeiten und Elastizitätsmoduln . . . . .	139
5.6.2	Einsatz von Deckvliesen . . . . .	141
5.6.3	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	143
5.7	Simulationsergebnisse . . . . .	145
5.7.1	Prinzipmodell . . . . .	145
5.7.2	Türeinsatzteil VW 379 . . . . .	149
5.7.3	Deformationselement . . . . .	152
5.7.4	Variation der Simulationsparameter . . . . .	157
5.7.5	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	165

6	Zusammenfassung	179
7	Ausblick	183
	Literaturverzeichnis	185
	Abbildungsverzeichnis	193
	Tabellenverzeichnis	197
A	Anhang	199
	A.1 Abkürzungverzeichnis . . . . .	199
	A.2 Symbole . . . . .	200
	A.3 Lebenslauf . . . . .	202