

**INHALTSVERZEICHNIS**

FORMELZEICHEN UND SYMBOLE.....	VIII
1. EINLEITUNG .....	1
1.1 Allgemeines.....	1
1.2 Vergleich von Duroplasten und Thermoplasten.....	1
1.3 Prozeßkostenanalyse.....	4
1.4 Aufgabenstellung und Zielsetzung .....	6
2. STAND DER TECHNIK .....	8
2.1 Vergleich von Fertigungsverfahren .....	8
2.1.1 Ablage entlang geodätischer Bahnen .....	9
2.1.2 Dornmaterialien .....	10
2.2 Faserwickelverfahren .....	11
2.3 Bandablage- oder Tapelegeverfahren .....	13
2.4 Faserbündelablage- oder Tow-Placement Verfahren.....	15
2.5 Bandqualität.....	17
2.6 Heizmethoden für thermoplastisches Faserablegen .....	19
2.6.1 Widerstandsschweißen.....	19
2.6.2 Ultraschallschweißen.....	19
2.6.3 Induktionsverfahren.....	20
2.6.4 Mikrowellenheizung.....	20
2.6.5 Flammenheizung.....	21
2.6.6 Laserheizung .....	21
2.6.7 Infrarotstrahler .....	22
2.6.8 Heißgasdüsen .....	23
2.7 Einsatz von Industrierobotern zum Faserablegen.....	25
3. ROBOTERGESTÜTZTE BANDABLAGE VON THERMOPLASTTAPE .....	27
3.1 Anlage zur robotergestützten Bandablage .....	27
3.2 Anlage zur robotergestützten Bandablage von Thermoplasttape.....	29

3.3	Kommunikationsstruktur der Anlage .....	30
4.	KONSTRUKTION VON BANDABLAGEKÖPFEN FÜR THERMOPLASTTAPE.....	32
4.1	Einleitung.....	32
4.2	Bandwickelkopf für thermoplastisches Tape.....	33
4.2.1	Konstruktionsanforderungen und Entwicklung.....	33
4.2.2	Erste experimentelle Ergebnisse mit Material und Bandwickelkopf .....	35
4.3	Bandablagekopf für Thermoplasttape.....	39
4.3.1	Konstruktionsanforderungen und Entwicklung.....	39
4.3.2	Entwicklung einer Start- und Schneidevorrichtung für thermoplastische Bandablage.....	45
4.3.3	Erste experimentelle Ergebnisse mit dem Bandablagekopf .....	47
4.4	Bandablagekopf für Thermoplasttape und Tow mit eingebauten Sensoren .....	50
4.4.1	Konstruktionsanforderungen und Entwicklung.....	50
4.4.2	Überwachung und Steuerung der Prozeßtemperatur .....	53
4.4.3	Prinzip der Tapeschneide- und Startvorrichtung.....	56
4.4.4	Untersuchung der Schneidmechanik für Thermoplasttape.....	58
4.4.5	Konsolidierung mit Hilfe der Start- und Schneidevorrichtung.....	62
5.	SIMULATIONEN UND MODELLIERUNG.....	65
5.1	Berechnung und Simulation des Wickelpfades .....	65
5.1.1	Das CARFiP System.....	66
5.1.2	Simulation der Dorngeometrie .....	67
5.1.3	Berechnung des geodätischen Ablagepfades entlang einer Dornoberfläche.....	68
5.1.4	Transformation der berechneten Werte für die Robotersimulation und Steuerung.....	70
5.2	Simulation des thermoplastischen Tapeablageprozesses.....	74
5.2.1	Übersicht über die Konsolidierungsmodelle und Prozeßsteuerung.....	75
5.2.2	Wärmeübertragung .....	78
5.2.3	Lagenkontakt.....	81

---

5.2.4	Polymerdiffusion .....	83
5.2.5	Konsolidierung .....	85
5.2.6	Polymerabbau.....	88
6.	ANWENDUNGEN UND STATISTISCHE VERSUCHSREIHEN.....	90
6.1	Untersuchungen an zylindrisch komplexen Wickeldornen.....	90
6.2	Wickeln von Ringen und Zylindern.....	93
6.3	Ablage von Thermoplasttpe auf flacher Oberfläche .....	93
6.4	Experimentelle Methoden zur Qualitätskontrolle.....	95
6.4.1	Zerstörungsfreie Ultraschalluntersuchungen .....	95
6.4.2	Schliffbilder und mikroskopische Untersuchungen .....	100
6.4.4	Ermittlung der Scherfestigkeit mittels des Kurzstabbiegeversuches.....	101
6.4.5	Ermittlung der Scherfestigkeit mittels des "Lauke-Schertesters".....	101
6.5	Vergleich von "on-line" konsolidierten Testringen mit Basislaminat.....	103
6.6	Einsatz von statistischen Methoden zur Erstellung eines Testplans .....	105
6.6.1	Auswahl der Prozeßparameter für die Versuchsreihe .....	106
6.6.2	Mikroskopische Untersuchungen der Prüfteile .....	108
7.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE.....	112
7.1	Zusammenhang zwischen statistisch ausgewählten Prozeßparametern und resultierender Scherfestigkeit .....	112
7.2	Experimentelle Verifizierung der Prozeßmodelle .....	117
7.2	Einsatz der Parametersimulation.....	122
8.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	124
8.1	Zusammenfassung .....	124
8.2	Ausblick .....	125
9.	LITERATURVERZEICHNIS.....	127
A1.	Herstellerverzeichnis von Wickel- und Tapelegemaschinen .....	140
A2.	Prozeßparameter der statistischen Versuchsreihe.....	141
A3.	Simulationsbeispiele .....	142
A4.	Vorveröffentlichungen.....	145