

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XXI
Symbolverzeichnis	XXV
Abkürzungsverzeichnis	XXIX
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	5
2.1 Hybride Verbunde	5
2.1.1 Definition und Einordnung	5
2.1.2 Vorbehandlungsverfahren	12
2.1.3 Herstellungsverfahren	17
2.1.3.1 Diskontinuierliche Herstellungsverfahren	17
2.1.3.2 Kontinuierliche Herstellungsverfahren . .	18
2.1.4 Prüfverfahren	20
2.1.4.1 Kennwertermittlung für metallische Blech-	
werkstoffe	21
2.1.4.2 Kennwertermittlung für Kunststoffe . . .	29
2.1.4.3 Kennwertermittlung für hybride Lamine	36
2.1.5 Umformverfahren	52
2.1.6 Simulationsmethoden	55
2.2 Funktionsintegration	61
2.2.1 Funktionsintegration in Blechwerkstoffe	63
2.2.2 Funktionsintegration in Kunststoffe	64
3 Motivation und Zielstellung	67
4 Konzipierung der Versuchsanlagen und Versuchsplanung	71
4.1 Werkstoffe	72
4.2 Externe Zuarbeiten	74

4.3	Fertigungsverfahren	75
4.3.1	Fügen	76
4.3.1.1	Oberflächenbehandlung	76
4.3.1.2	Diskontinuierliches Fügen	78
4.3.1.3	Kontinuierliches Fügen	80
4.3.2	Umformen	84
4.4	Prüfverfahren	87
4.4.1	Kennwertermittlung für metallische Blechwerkstoffe	88
4.4.1.1	Mechanische Prüfverfahren	88
4.4.1.2	Technologische Prüfverfahren	88
4.4.2	Kennwertermittlung für Kunststoffe	93
4.4.2.1	Mechanische Prüfverfahren	93
4.4.2.2	Physikalische Prüfverfahren	94
4.4.3	Kennwertermittlung für hybride Lamine	94
4.4.3.1	Mechanische Prüfverfahren	94
4.4.3.2	Technologische Prüfverfahren	97
4.5	Simulation	103
4.5.1	Elementtypen	105
4.5.2	Materialeigenschaften	105
4.5.3	Kontaktmodellierung/ Grenzfläche	106
4.5.4	Solver	110
5	Prozesskette zur Herstellung ebener sensorischer hybrider Lamine	111
5.1	Oberflächenbehandlung	111
5.2	Diskontinuierliches Fügen	112
5.3	Auswahl der Zusammensetzung des sensorischen Verbundes und Weiterverarbeitung zur Folie	114
5.3.1	Elektrische Eigenschaften des sensorischen Verbundes	114
5.3.2	Rheologische Eigenschaften des sensorischen Verbundes	115
5.3.3	Schlussfolgerungen für die Herstellung einer sensorischen Folie	116
5.4	Kontinuierliches Fügen	117
5.4.1	Kontinuierliches Fügen mithilfe eines Laborwalzwerkes	117
5.4.2	Kontinuierliches Fügen mithilfe einer angepassten Walzprofilieranlage	121

6	Ermittlung relevanter Kennwerte	125
6.1	Kennwertermittlung für metallische Blechwerkstoffe . . .	125
6.1.1	Mechanische Prüfverfahren	125
6.1.1.1	Zugversuch (Flachzugversuch)	125
6.1.2	Technologische Prüfverfahren	127
6.1.2.1	Biegeprüfverfahren	127
6.1.2.2	Näpfchen-Tiefziehprüfung nach Swift . .	128
6.1.2.3	Grenzformänderungsdiagramm	132
6.2	Kennwertermittlung für Kunststoffe	134
6.2.1	Mechanische Prüfverfahren	134
6.2.1.1	Zugversuch	134
6.2.2	Physikalische Prüfverfahren	135
6.2.2.1	Dynamische Differenzkalorimetrie-DSC .	135
6.3	Kennwertermittlung für hybride Lamine	136
6.3.1	Mechanische Prüfverfahren	136
6.3.1.1	Kopfzugversuch	136
6.3.1.2	Bestimmung der scheinbaren interlaminaren Scherfestigkeit (scheinbare interlaminare Scherfestigkeit (ILSS))	137
6.3.1.3	Zug-Scher-Prüfung	140
6.3.2	Technologische Prüfverfahren	141
6.3.2.1	Biegeprüfverfahren	141
6.3.2.2	Näpfchen-Tiefziehprüfung nach Swift . .	143
6.3.2.3	Grenzformänderungsdiagramm kombiniert mit Lockin-Thermographie	144
6.3.2.4	Modifizierte Bestimmung der Reibeigenschaften nach DIN EN ISO 8295	148
7	Umformen von sensorischen Verbunden	153
7.1	Prozessauslegung	153
7.1.1	Zuschnittsermittlung	154
7.1.2	Zeit-Temperatur-Regime	155
7.1.3	Formänderungsanalyse	156
7.2	Parametervariation	157
7.3	Prozessstabilität	159
8	Umformsimulation sensorischer hybrider Verbunde	161
8.1	Validierung der Kennwertermittlung	161
8.1.1	Modellierung der monolithischen Werkstoffeigenschaften	161

8.1.2	Modellierung der Verbundeigenschaften mittels mechanischer Prüfverfahren	163
8.1.2.1	Validierung des Kopfzugversuches	163
8.1.2.2	Validierung der Bestimmung der scheinbaren interlaminaren Scherfestigkeit (ILSS)	165
8.1.2.3	Validierung der Zug-Scher-Prüfung	166
8.1.3	Modellierung der Verbundeigenschaften mittels technologischer Prüfverfahren	168
8.1.3.1	Validierung des V-Biegeprüfverfahrens	168
8.1.3.2	Validierung der Näpfchen-Tiefziehprüfung nach Swift	173
8.1.3.3	Validierung der Bestimmung der Grenzformänderungskurve im Marciniak-Versuch	180
8.2	Umformsimulation des sensorischen Funktionsdemostrators	181
9	Bestimmung der sensorischen Eigenschaften der umgeformten Verbunde	191
9.1	Anwendung des sensorischen hybriden Laminats für haptisches Eingabegerät mit integrierter Signalverarbeitung	191
9.1.1	Bestimmung der Signalcharakteristika und der Polarisierungseigenschaften des sensorischen hybriden Laminats	191
9.1.2	Signalverarbeitung durch maschinelles Lernen auf einem eingebetteten System	196
9.2	Anwendung des sensorischen hybriden Laminats für die strukturelle Zustandsüberwachung von dynamisch belasteten Systemen	199
10	Zusammenfassung und Ausblick	205
	Literaturverzeichnis	211
	Anhang	231