

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemanalyse.....	2
1.2	Zielsetzung.....	3
1.3	Vorgehensweise.....	4
2	Stand der Erkenntnisse	5
2.1	Leichtbau.....	5
2.2	Stahlwerkstoffe.....	9
2.3	Faserverbundkunststoffe.....	11
2.3.1	Begriffskonventionen.....	13
2.3.2	Verstärkungsfasern.....	14
2.3.3	Matrixwerkstoffe.....	16
2.3.4	Verstärkungshalbzeuge.....	21
2.3.5	Herstellverfahren.....	25
2.4	Werkstoffkombinationen.....	31
2.4.1	Einteilung.....	31
2.4.2	Hybridsysteme.....	32
2.5	Klebtechnisches Fügen.....	33
2.5.1	Bindungskräfte.....	33
2.5.2	Kleben von Faserverbundkunststoffen.....	35
2.6	Methodisches Gestalten.....	35
3	Prepregpressen	39
3.1	Verfahrensablauf.....	39
3.1.1	Herstellung angepasster Prepregs.....	39
3.1.2	Prepregpressen von Faserverbundkunststoff-Bauteilen.....	40
3.1.3	Indirektes Prepregpressen von Hybridbauteilen.....	41
3.1.4	Direktes Prepregpressen von Hybridbauteilen.....	42
3.2	Bewertung des Verfahrens.....	42
3.3	Einflussgrößen und Parameter.....	43
4	Experimentelle Methoden	45
4.1	Werkstoffe.....	45
4.1.1	Prepregs.....	45
4.1.2	Stahlwerkstoffe.....	46
4.1.3	Klebstoffsysteme.....	46
4.2	Trennmittel.....	47

4.3	Krafteinleitungselemente	48
4.4	Werkzeugmaschinen	48
4.5	Prüfsysteme	48
4.6	Versuchsplanung	49
5	Qualifikation des Prepregpressens	51
5.1	Mechanische Eigenschaften	51
5.1.1	Zugversuche	51
5.1.2	Biegeversuche	54
5.2	Eigenschaften des Faserverbundkunststoffs	58
5.3	Verbindung von Metall und Faserverbundkunststoff	62
5.3.1	Scherzugversuche	62
5.3.2	Einfluss unterschiedlicher Belastungswinkel	72
6	Herstellprozess für Hybridbauteile	81
6.1	Einflussgrößen auf die Bauteilqualität und -eigenschaften	81
6.2	Aushärtungsverhalten	82
6.2.1	Herstellerangaben und RGT-Regel	82
6.2.2	Dynamische Differenzkalorimetrie	83
6.2.3	Temperaturausbreitung im Prepreg	93
6.3	Untersuchung der Prozessparameter	96
6.3.1	Konsolidierungszeit	97
6.3.2	Konsolidierungstemperatur	98
6.3.3	Konsolidierungsdruck	99
6.3.4	Kombinationen unterschiedlicher Prozessparameter	101
6.3.5	Ableitung optimaler Prozessparameter	102
6.3.6	Umformgeschwindigkeit	103
6.4	Einfluss von Geometriemerkmalen	104
6.4.1	Flankenwinkel	104
6.4.2	Radien	107
6.5	Einfluss der Geometrie	110
6.5.1	Flächige Geometrien	111
6.5.2	Doppelsymmetrische und abwickelbare Geometrien	112
6.5.3	Doppelsymmetrische Geometrien	113
6.5.4	Napf-Geometrie	114
6.5.5	Halbkugel-Geometrie	115
6.5.6	Realbauteilähnliche Geometrie	115
6.6	Materialverhalten	116
6.6.1	Zwischenlagengleiten	116
6.6.2	Scherrahmenversuch	125

6.6.3	Einfluss der Vorwärmung und der Umformgeschwindigkeit	129
6.7	Thermische Eigenspannungen in Hybridwerkstoffen	130
6.7.1	Analytische Berechnung der thermischen Eigenspannungen	131
6.7.2	Abschätzung der real wirkenden thermischen Eigenspannungen.....	134
6.8	Werkzeugkonzepte.....	138
6.8.1	Offene Werkzeuge.....	138
6.8.2	Geschlossene Werkzeuge	140
6.8.3	Einfluss des Werkzeugkonzepts auf die mechanischen Eigenschaften:.....	144
6.8.4	Steuerung des Materialflusses während der Umformung.....	145
6.8.5	Werkzeugkonzept zur Herstellung komplexer Geometrien.....	146
6.9	Bauteileigenschaften	147
6.9.1	Versuchsaufbauten und -auswertung	147
6.9.2	Untersuchungen an Demonstratorbauteilen.....	150
6.9.3	Untersuchungen an einer realbauteilähnlichen Geometrie.....	159
6.9.4	Zusammenfassung	163
6.10	Einfluss einer kathodischen Tauchlackierung	164
6.11	Gestaltung des Herstellungsprozesses	166
7	Methodik zur Entwicklung von Hybridstrukturen.....	169
7.1	Grundlagen der Produktentwicklung.....	169
7.1.1	Entwicklungsprozess	169
7.1.2	Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung	170
7.1.3	Handlungsbedarf	172
7.2	Überblick über die Methodik	173
7.3	Methodik-Modul 1: Marktsituation und Trendanalyse.....	174
7.4	Methodik-Modul 2: Entwicklung von Hybridstrukturen.....	176
7.4.1	Generisches Vorgehensmodell.....	176
7.4.2	Spezifische Vorgehensmodelle.....	178
7.5	Methodik-Modul 3: Methodisches Gestalten	179
7.6	Methodik-Modul 4: Optimierung von Produkten.....	181
7.7	Methodik-Modul 5: Planung der Herstellungsprozesse.....	183
7.8	Methodik-Modul 6: Wissensbasis	186
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	191
9	Abkürzungen und Symbole	197
10	Literaturverzeichnis	202