

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Stand der Wissenschaft und Technik	3
2.1	Metallbasierte Mehrschichtverbunde in Leichtbauanwendungen.....	5
2.1.1	Verbunde ohne faserverstärkte Zwischenschicht.....	5
2.1.2	Verbunde mit faserverstärkter Zwischenschicht.....	7
2.1.3	Verbunde mit lokalen Versteifungselementen	9
2.2	Umformverhalten metallbasierter Mehrschichtverbunde.....	10
2.2.1	Besonderheiten gegenüber Einmaterialsystemen.....	10
2.2.2	Ausgewählte Ergebnisse der Umformung metallbasierter Mehrschichtverbunde.....	11
2.3	Fügen metallischer Werkstoffe durch Kleben	20
2.3.1	Grundlagen	20
2.3.2	Kleben von Blechen	22
2.4	Piezosensorik und -aktorik durch flächige Piezowandler	23
2.4.1	Piezoeffekt	23
2.4.2	Prinzipien zur Integration von flächigen Piezowandlern in metallbasierte Mehrschichtverbunde.....	26
2.4.3	Anwendungsbeispiele	27
2.5	Defizite und Handlungsbedarf.....	29
3	Zielsetzung	32
4	Technologien zur Integration von Piezomodulen in umformbare metallbasierte Mehrschichtverbunde	34
4.1	Halbzeugherstellung	34
4.1.1	Piezomodulspezifische Anforderungen an die Integrationstechnologie.....	34
4.1.2	Auswahl eines Fügeverfahrens	35

4.1.3	Aufbauprinzipien und Lage der Piezomodule.....	36
4.2	Ableitung der Methode der schwimmenden Lagerung.....	38
4.2.1	Funktionsprinzip.....	38
4.2.2	Funktionalität des Mehrschichtverbundes.....	40
4.3	Numerische Simulation zur Auslegung metallbasierter Mehrschichtverbunde nach ihrer aktorischen Funktionalität.....	40
4.3.1	Aufbau des Modells.....	40
4.3.2	Parameterstudie.....	42
4.3.3	Sensitivitätsanalyse und Ergebnisinterpretation.....	44
5	Herstellung metallbasierter Mehrschichtverbunde.....	48
5.1	Fertigungsprozesskette.....	48
5.1.1	Halbzeugherstellung und Piezomodulintegration.....	49
5.1.2	Umformung und Aushärtung.....	52
5.2	Werkstoffauswahl und -charakterisierung.....	53
5.2.1	Grundblech.....	53
5.2.2	Piezomodul.....	55
5.2.3	Klebstoff.....	57
5.2.4	Decklagenwerkstoff.....	66
5.2.5	Decklagenfixierung.....	66
5.3	Experimentelle Untersuchungen zur Umformung.....	67
5.3.1	Durchführung von Biegeversuchen.....	70
5.3.2	Tief- und Streckziehen rotationssymmetrischer Beulproben.....	72
5.3.3	Tiefziehen von Proben mit einer Rechtecknapfgeometrie.....	73
5.3.4	Tiefziehen von Proben mit einer Freiformgeometrie.....	75
5.3.5	Tiefziehen von Proben einer Demonstratorgeometrie.....	77
6	Eigenschaftscharakterisierung metallbasierter Mehrschichtverbunde.....	80
6.1	Geometrische Eigenschaften.....	80
6.1.1	Optische 3D-Geometrieerfassung.....	80
6.1.2	Metallografische Untersuchungen.....	86
6.2	Mechanische Eigenschaften des Verbundes.....	92

6.2.1	Quasistatische Biegeversuche (4-Punkt-Biegung).....	92
6.2.2	Dauerschwingversuche (4-Punkt-Biegung).....	93
6.3	Eigenschaften des Piezomoduls.....	96
6.3.1	Kapazitätsmessung.....	96
6.3.2	Röntgendurchstrahlverfahren.....	100
6.4	Eigenschaften des Piezomoduls im Verbund.....	103
6.4.1	Aktorische Signalanalyse.....	103
6.4.2	Sensorische Signalanalyse.....	107
6.4.3	Dauerschwingversuche zum Test der inhärenten Aktorfunktion	109
6.4.4	Impedanzmessung.....	110
7	Beispielanwendungen.....	112
7.1	Reduzierung der akustischen Schallabstrahlung.....	112
7.2	Health-Monitoring einer Fügestelle.....	116
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	122
	Quellenverzeichnis.....	126