

Inhaltsverzeichnis

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	13
Abbildungsverzeichnis	17
Tabellenverzeichnis	23
1 Einleitung	25
2 Stand von Wissenschaft und Technik	29
2.1 Grundlagen	29
2.1.1 Piezoelektrische Materialcharakteristik	29
2.1.2 Flächige keramikbasierte piezoelektrische Wandler	34
2.1.3 Homogenisierungsmethoden für inhomogen aufgebaute Körper	36
2.2 Schadenstoleranz piezokeramischer Materialien	40
2.3 Eigenschaftspotential von Strukturen mit piezokeramischen Wandlern	42
2.4 Hybride Materialverbunde	44
3 Motivation	47
3.1 Piezokeramik-Metall-Verbunde	47
3.2 Einordnung der Arbeit	49
3.3 Ziele und Aufbau	50
4 Umformversuche und Materialparameterbestimmung	53
4.1 Umformexperiment	53
4.2 Materialparameter zur Beschreibung des elastischen MFC-Verhaltens	56
4.3 Materialparameter zur Beschreibung des inelastischen MFC-Verhaltens	61
4.4 Materialparameter Aluminiumbleche	62
4.5 Materialparameter für das hyperelastische Abstandshalter- klebstoffband	65
5 FE-Modell der Umformung	67
5.1 Modellierung der Klebstoffwirkung	67
5.2 Ableitung des FE-Modells	76

6	Experiment und Modellierung der MFC-Funktionsdegradation	79
6.1	Experimentelle Ermittlung der Funktionsdegradation	80
6.1.1	Versuchsablauf und Belastungsregime	80
6.1.2	Probenformen und Prüfmaschinen	81
6.1.3	Piezofaserrissentwicklung im Experiment Funktions- degradation.	85
6.1.4	Auswertung Funktionsdegradation	89
6.1.5	Exemplarische Modellierung Piezokeramikfaserriss	91
6.1.6	Mechanische Depolarisierung	95
6.2	Approximation der Versuchsergebnisse zur Funktions- verminderung und Implementierung	96
6.3	Verifizierung in der Simulation des Zugversuchs	100
7	Validierung des Funktionsdegradationsmodells in der Simulation des Umformprozesses	103
7.1	Numerische Simulation der Umformversuche	103
7.2	Vergleich von Kapazitätsmessung und Funktions- degradationsmodell	107
7.3	Vergleich von Piezokeramik-Faserrissentwicklung und Funktions- degradationsmodell	110
7.4	Gegenüberstellung von Kapazitäten, Faserrissdichten und Degradationsmodell	116
8	Numerische Abbildung des Eigenschaftsprofils von Piezokeramik- Metall-Verbunden	119
8.1	Aktorik und Sensorik	119
8.2	Schwingungsbeeinflussung	125
9	Diskussion und Zusammenfassung	129
	Literaturverzeichnis	133

Anhang	145
A Ermittlung der Reibparameter und Implementierung eines orthotropen Reibansatzes	147
A.1 Nutzerspezifische Implementierung einer orthotropen Reibcharakteristik.	147
A.2 Verifizierung der nutzerspezifischen Routinen	150
A.2.1 Quasistatischer Modelltest	150
A.2.2 Dynamischer Modelltest	153
A.3 Ermittlung Reibparameter MFC im Experiment	154
A.4 Numerische Umsetzung und Verifizierung	157
B Homogenisierung mittels klassischer Laminattheorie	161
C Korrektur der Rissdichte	163
Lebenslauf	165