

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	vii
1 Einordnung und Ziele der Arbeit	1
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Aufbau und Funktionsweise integrierter Piezokeramiken	5
2.1.1 Der piezoelektrische Effekt	5
2.1.2 Piezoelektrische Keramiken	7
2.1.3 Integrierte Piezokeramiken	10
2.2 Der pyroelektrische Effekt	10
2.3 Messung des pyroelektrischen Koeffizienten	11
2.4 Zerstörungsfreie Prüfung von Piezokeramiken	13
2.4.1 Impedanzspektroskopie	13
2.4.2 Bestimmung der Polarisations- und Raumladungsverteilung	14
3 Messmethoden	19
3.1 Laserintensitätsmodulationsmethode	19
3.1.1 Messprinzip	19
3.1.2 Stand der Technik und Forschung	25
3.2 Wärmepulsmethode	30
3.2.1 Messprinzip	30
3.2.2 Stand der Technik und Forschung	31
4 Modellierung und Simulation integrierter Piezokeramiken	33
4.1 Laserintensitätsmodulationsmethode	33
4.1.1 Analytische Modelle für den pyroelektrischen Strom	33
4.1.2 Numerische Simulation komplexer Strukturen	39
4.1.3 Zusammenfassung	39
4.2 Wärmepulsmethode	40
4.2.1 Modellierung im Zeitbereich	40
4.2.2 Transformation in den Frequenzbereich	45
4.2.3 Zusammenfassung	47

5	Messplatz und Untersuchungsobjekte	49
5.1	Messplatz LIMM	49
5.1.1	Aufbau des Messplatzes	49
5.1.2	Messunsicherheit	50
5.2	Messplatz zur Wärmepulsanregung	53
5.2.1	Aufbau des Messplatzes	53
5.2.2	Pulslaserdioden	53
5.2.3	Stromverstärker	55
5.2.4	Messunsicherheit	57
5.3	Untersuchungsobjekte	59
5.3.1	Referenzproben aus PZT	59
5.3.2	LTCC/PZT-Module	60
5.3.3	Thermoplastverbundkompatible Piezokeramik-Module	61
5.3.4	Aluminiumdruckgussbauteile mit integrierten Piezokeramiken	62
5.3.5	Faserkomposite	63
6	Experimentelle Ergebnisse und Diskussion	65
6.1	Laserintensitätsmodulationsmethode	65
6.1.1	Referenzproben aus PZT	65
6.1.2	LTCC/PZT-Module	69
6.1.3	Thermoplastverbundkompatible Piezokeramik-Module	71
6.1.4	Macro-Fiber-Composite-Aktor	74
6.1.5	Aluminiumdruckgussbauteile mit integrierten Piezokeramiken	77
6.1.6	Piezofaserkomposite	81
6.1.7	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	84
6.2	Wärmepulsmethode	85
6.2.1	Modellierung im Zeitbereich	85
6.2.2	Messung im Zeitbereich	95
6.2.3	Vergleich von Experiment und Modellen	97
6.2.4	Transformation in den Frequenzbereich	99
6.2.5	Inverse Fouriertransformation	111
6.2.6	Zusammenfassung	113
6.3	Vergleich von LIMM und WPM zur Untersuchung des Polarisationszustands von Piezofaserkompositen	114
6.3.1	Proben und Messablauf	114
6.3.2	Ergebnisse mit LIMM	115
6.3.3	Ergebnisse mit WPM	119
6.3.4	Schlussfolgerungen	120
6.3.5	Vergleich zu anderen Messmethoden	121
7	Zusammenfassung und Ausblick	123
	Literaturverzeichnis	127