

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung.....	2
1.2	Zielsetzung	3
2	Stand der Wissenschaft und Technik	7
2.1	Integration sensorischer und aktorischer Elemente in Kunststoffe und Verbundwerkstoffe	7
2.2	Piezoelektrische Sensor- und Aktormodule.....	10
2.3	Elektrische Kontaktierung piezokeramischer Elemente.....	12
2.4	Elektrische Kontaktierung mittels leitfähiger Polymere.....	13
2.4.1	Intrinsisch leitende Kunststoffe	13
2.4.2	Elektrisch leitfähige Kunststoffe auf Basis leitender Feststoffe ...	15
3	Werkstoffverhalten funktionalisierter Kunststoffcompounds	23
3.1	Morphologie von kohlenstoffhaltigen Polypropylen.....	23
3.1.1	Kohlenstoff-Nanoröhrchen	23
3.1.2	Carbon Black (Industrieruß).....	26
3.1.3	Netzwerkbildung spritzgegossener Nanocomposite	29
3.2	Elektromechanisches Verhalten piezokeramikgefüllter Thermoplastcompounds.....	38
3.2.1	Piezoelektrische Wirkmechanismen	38
3.2.2	Polarisationsprozess.....	40
3.2.3	Dielektrische Hysterese	41
3.2.4	Mathematische Beschreibung des piezoelektrischen Effektes ...	44
3.2.5	Piezoelektrische Materialien	49
3.2.6	Elektrische Felder im dielektrisch inhomogenen Materialverbund	51

4	Partikelausrichtung beim Spritzgießen beladener Thermoplaste.....	57
4.1	Mikrospritzguss hochgefüllter Kunststoffe	57
4.2	CNT-Orientierung im Thermoplastcompound beim Mikrospritzgießen ..	58
5	Experimentelle Untersuchungen von CNT-gefülltem Polypropylen	63
5.1	Mikrospritzgießtechnische Probekörperfertigung und Prüfverfahren	63
5.2	Analyse des mechanischen Werkstoffverhaltens	68
5.2.1	Einfluss der Schmelztemperatur auf die mechanischen Kennwerte.....	68
5.2.2	Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit auf die mechanischen Kennwerte.....	70
5.2.3	Einfluss des CNT-Gewichtsanteils auf die mechanischen Kennwerte.....	72
5.2.4	Auswertung der mechanischen Eigenschaften	73
5.3	Untersuchungen zur Analyse der elektrischen Leitfähigkeit	76
5.3.1	Einfluss der Massetemperatur	76
5.3.2	Einfluss der Einspritzgeschwindigkeit	76
5.3.3	Auswertung der erzielten Ergebnisse	77
5.3.4	Elektrische Leitfähigkeit von Polypropylen mit CNT/CB-Anteil....	79
5.3.5	Auswertung der elektrischen Eigenschaften	83
6	Untersuchungen von PZT-gefülltem PP-Nanocompounds	85
6.1	Mikrospritzgießtechnische Probekörperfertigung und Prüfverfahren	85
6.2	Dielektrische und piezoelektrische Charakterisierung	89
6.3	Rheologische Charakterisierung der PZT-PP-Compounds	96
6.4	Auswertung	99

7	Strukturmechanische Auslegung eines neuartigen μIMP-Moduls.....	101
7.1	Werkstoffmechanische Kompatibilität.....	101
7.2	Fertigungsbedingte Eigenspannungen und Verzerrungen	104
7.3	Formfüllsimulation und spritzgießgerechte μ IM- Werkzeugkonstruktion	105
8	Zusammenfassung	109
	Literaturverzeichnis	113
	Abbildungsverzeichnis.....	129
	Tabellenverzeichnis.....	135
	Anhang	137
A	Spannungsverläufe bei den μ IMP-Komponenten nach dem Abkühlen	137
B	Volumenschrumpfung und Temperaturverlauf im μ IM-Piezomodul.....	138
C	Technische Zeichnungen des μ IMP-Spritzgießwerkzeug.....	139