

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Problemstellung.....	2
1.2	Zielsetzung .....	3
<b>2</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik</b> .....	<b>7</b>
2.1	Integration sensorischer und aktorischer Elemente in Kunststoffe und Verbundwerkstoffe .....	7
2.2	Piezelektrische 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
<b>3</b>	<b>Werkstoffverhalten funktionalisierter Kunststoffcompounds</b> .....	<b>23</b>
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	Piezelektrische 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	Piezelektrische Materialien .....	49
3.2.6	Elektrische Felder im dielektrisch inhomogenen Materialverbund .....	51

---

<b>4</b>	<b>Partikelausrichtung beim Spritzgießen beladener Thermoplaste.....</b>	<b>57</b>
4.1	Mikrospritzguss hochgefüllter Kunststoffe .....	57
4.2	CNT-Orientierung im Thermoplastcompound beim Mikrospritzgießen ..	58
<b>5</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen von CNT-gefülltem Polypropylen .....</b>	<b>63</b>
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
<b>6</b>	<b>Untersuchungen von PZT-gefülltem PP-Nanocompounds .....</b>	<b>85</b>
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

---

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