

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>2 Forschungshypothesen und Struktur der Arbeit . . . . .</b>	<b>5</b>
2.1 Forschungslücke und Hypothesen . . . . .	5
2.2 Struktur der Arbeit . . . . .	9
<b>3 Mechanische Auswirkung der Sensorintegration . . . . .</b>	<b>11</b>
3.1 Geometrischer Störeinfluss integrierter Sensorik . . . . .	12
3.2 Festigkeitsdegradation durch neu eingebrachte Grenzflächen. . . . .	13
3.2.1 Zugfestigkeit der Grenzfläche . . . . .	15
3.2.2 Rissausbreitung an Grenzflächen in Mode I . . . . .	17
3.2.3 Interlaminare Scherfestigkeit von Grenzflächen . . . . .	28
3.2.4 Kombiniertes Versagen im Compression After Impact Test . . . . .	40
3.3 Steifigkeitsfehlanpassungen und plastische Fließvorgänge . . . . .	46
3.3.1 Mechanische Parallelschaltung von Sensor und Struktur . . . . .	46
3.3.2 Spannungüberhöhungen in der Reihen-Parallel-Konfiguration . . . . .	49
3.3.3 Spannungsumlagerungen und plastisches Fließen . . . . .	52
3.4 Schlussfolgerungen . . . . .	57
<b>4 Auflösungseffekte des Sensorsubstrates . . . . .</b>	<b>59</b>
4.1 Mischbarkeit und Auflösung . . . . .	59
4.1.1 Modelle der Mischbarkeit . . . . .	60
4.1.2 Auflösung thermoplastischer Folien . . . . .	61
4.2 Wirkung der Auflösung auf die Sensorstrukturen . . . . .	63
4.3 Unabhängigkeit der Adhäsionsfestigkeit von der Auflösung . . . . .	73
4.4 Schlussfolgerungen . . . . .	75
<b>5 Aushärteprozess von Epoxidharzen . . . . .</b>	<b>77</b>
5.1 Eigenschaftsveränderungen während der Aushärtreaktion . . . . .	78
5.1.1 Gelierung, Viskosität und Mischbarkeit . . . . .	80

5.1.2	Verfahren der bauteilintegrierten Aushärteüberwachung . . . . .	81
5.2	Aushärteinduzierte Veränderungen der elektrischen Eigenschaften. . . . .	82
5.2.1	Spezifischer Widerstand und Aushärtegrad. . . . .	82
5.2.2	Spezifischer Widerstand und Viskosität . . . . .	85
5.2.3	Epoxidharz als Dielektrikum. . . . .	86
5.3	Beziehung zwischen Temperatur und Aushärtegrad . . . . .	92
5.4	Schlussfolgerungen . . . . .	94
<b>6</b>	<b>Interpretation dielektrischer Messdaten . . . . .</b>	<b>97</b>
6.1	Stand der Forschung . . . . .	98
6.2	Abgrenzung zwischen Interdigitalsensor und Plattenkondensator . . . . .	99
6.2.1	Zusammenhang zwischen Permittivität und Kapazität . . . . .	100
6.2.2	Darstellungsvarianten von Impedanzinformationen . . . . .	106
6.2.3	Einfluss des Elektrodenpolarisationseffektes . . . . .	107
6.2.4	Räumliche Ausgestaltung der Elektrodenpolarisation . . . . .	115
6.2.5	Physikalisch motiviertes Ersatzschaltbild eines Interdigitalsensors . . . . .	117
6.3	Modellbasierte Parameterextraktion aus gemessenen Spektren . . . . .	121
6.3.1	Fitting-Modell und freie Parameter . . . . .	123
6.3.2	Anpassungsalgorithmus und Fehlermaße . . . . .	124
6.3.3	Zeitlicher Verlauf der gefitteten Parameter und Modellgüte . . . . .	125
6.4	Störungsbetrachtung . . . . .	129
6.4.1	Störeinflüsse im Labor- und Autoklavumfeld . . . . .	129
6.4.2	Impedanzbetrachtung des eingebetteten Sensors . . . . .	133
6.5	Schlussfolgerungen . . . . .	137
<b>7</b>	<b>Prozessüberwachung mit minimalinvasiven integrierten Sensoren . . . . .</b>	<b>139</b>
7.1	Aushärteüberwachung . . . . .	140
7.2	Detektion von Anmischfehlern . . . . .	146
7.3	Einfluss des Fasermaterials . . . . .	151
7.4	Nichtisotherme Aushärteüberwachung im Glasfaserverbund . . . . .	154
7.5	Schlussfolgerungen . . . . .	159
<b>8</b>	<b>Zielkonflikte im Sensordesign . . . . .</b>	<b>161</b>
8.1	Kapselung und elektrische Isolation . . . . .	161
8.2	Einfluss des Metallisierungsgrades . . . . .	166
8.3	Weiterentwicklungsprozess integrierter Sensoren . . . . .	168
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick . . . . .</b>	<b>171</b>
<b>Anhang A: Bruchoberflächen und Bruchbilder . . . . .</b>	<b>175</b>	
<b>Literatur . . . . .</b>	<b>181</b>	