



# Inhaltsverzeichnis

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>8</b>
<b>FORMELVERZEICHNIS.....</b>	<b>9</b>
<b>1. MOTIVATION UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>15</b>
<b>2. GRUNDLAGEN UND STAND DER TECHNIK.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Leiterplattenaufbau und Herstellung.....</b>	<b>17</b>
2.1.1 Aufbau Basismaterial FR4.....	17
2.1.2 Herstellprozess einer Leiterplatte .....	18
2.1.3 Grundlagen der Galvanotechnik in der Leiterplattenfertigung.....	20
<b>2.2 Mess- und Charakterisierungsmethoden.....</b>	<b>26</b>
2.2.1 Messmethoden zur Materialcharakterisierung.....	26
2.2.2 Messmethoden für Durchkontaktierungen .....	29
2.2.3 Eingesetzte Messmethoden.....	30
2.2.4 Statistische Auswertung der TW-Versuche.....	31
<b>2.3 Verformung von Metallen.....</b>	<b>32</b>
2.3.1 Linear-elastische Verformung.....	32
2.3.2 Plastische Verformung .....	33
<b>2.4 Ermüdung von Metallen.....</b>	<b>33</b>
2.4.1 Coffin-Manson-Basquin-Gleichung .....	34
2.4.2 Schädigungsparameter nach Smith Watson Topper.....	36
<b>2.5 Modelle zur Lebensdauervorhersage von Durchkontaktierungen.....</b>	<b>37</b>
2.5.1 Modell mit Coffin-Manson-Basquin-Ansatz.....	39
2.5.2 Last-Lebensdauergesetz.....	40
2.5.3 Bewertungskriterien für Lebensdauermodelle.....	40



<b>3.</b>	<b>EXPERIMENTELLES VORGEHEN.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Materialcharakterisierung der Kupferschicht .....</b>	<b>43</b>
3.1.1	Bisherige Probenherstellung und Testmethoden .....	45
3.1.2	Zugversuche.....	47
3.1.3	Zusammenfassung zur Charakterisierung der Kupferschicht in der Durchkontaktierung .....	64
<b>3.2</b>	<b>Charakterisierung von FR4-Basismaterial.....</b>	<b>64</b>
3.2.1	Thermisch Mechanische Analyse (TMA).....	65
3.2.2	Dynamisch Mechanische Analyse (DMA) .....	68
<b>3.3</b>	<b>Onlinewiderstandsmessungen .....</b>	<b>70</b>
3.3.1	Aufbau der Prüflinge für TW-Versuche.....	70
3.3.2	Festlegung des elektrischen Ausfallkriteriums .....	74
3.3.3	Durchführung der TW-Versuche.....	79
<b>3.4</b>	<b>Bewertung der Bohrlochqualität .....</b>	<b>82</b>
3.4.1	Einstellung der Bohrlochqualität über die Standzeit des Bohrers .....	83
3.4.2	Einfluss des Bohrdurchmessers auf die Bohrlochqualität .....	84
3.4.3	Einführung von Bohrlochqualitätsklassen.....	85
<b>4.</b>	<b>NUMERISCHE BEANSPRUCHUNGSANALYSE .....</b>	<b>87</b>
<b>4.1</b>	<b>Werkstoffmodelle .....</b>	<b>87</b>
4.1.1	Elektrolytisch abgeschiedene Kupferschicht.....	87
4.1.2	FR4-Basismaterial .....	88
<b>4.2</b>	<b>3D-Modellaufbau und Vernetzung .....</b>	<b>89</b>
<b>4.3</b>	<b>2D-Modellaufbau und Vernetzung .....</b>	<b>91</b>
<b>4.4</b>	<b>Randbedingungen und Belastungsprofil.....</b>	<b>92</b>
4.4.1	Randbedingungen .....	92
4.4.2	Belastungsprofil.....	93



<b>4.5</b>	<b>Auswertung der FEM-Ergebnisse .....</b>	<b>94</b>
<b>4.6</b>	<b>Vergleich der 2D- und 3D-Simulation .....</b>	<b>98</b>
<b>5.</b>	<b>DISKUSSION DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>101</b>
<b>5.1</b>	<b>Auswertung der Temperaturwechselversuche.....</b>	<b>101</b>
5.1.1	Betrachtungen der Rissverteilung.....	101
<b>5.2</b>	<b>Entwicklung quantitativer Lebensdauermodelle .....</b>	<b>103</b>
5.2.1	Modell mit Coffin-Manson-Basquin-Ansatz.....	104
5.2.2	Modell mit Schädigungsparameter-Ansatz.....	108
5.2.3	Modell nach IPC (Engelmaier).....	111
5.2.4	Modellerweiterung mit Berücksichtigung des Einflusses der Bohrlochrauheit ....	112
5.2.5	Last-Lebensdauermodell mit $\Delta T$ als Schädigungsgröße .....	115
5.2.6	Modifiziertes Last-Lebensdauermodell mit erweiterter Schädigungsgröße.....	117
<b>6.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>121</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>123</b>
<b>8.</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>131</b>
<b>8.1</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>131</b>
<b>8.2</b>	<b>Auswertedaten der Zugversuche .....</b>	<b>134</b>