

# Konzeption produktspezifischer Lösungen zur Robustheitssteigerung elektronischer Systeme gegen die Einwirkung von Betauung im Automobil

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungen.....</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Aktuelle Entwicklungen bei der Zuverlässigkeitsabsicherung elektronischer Systeme .....</b>	<b>5</b>
2.1 Herausforderungen bei der Qualifizierung elektronischer Systeme für automobile Anwendungen .....	5
2.2 Methodische Ansätze zur Entwicklung robuster Elektroniksysteme .....	7
2.2.1 Robust Design-Entwicklung & -Verifikation .....	7
2.2.2 Robustness Validation-Methode .....	12
<b>3 Physikalisch-chemische Grundlagen .....</b>	<b>18</b>
3.1 Luftfeuchtigkeit und Betauung .....	18
3.2 Fehlermechanismen bei klimatischer Beanspruchung .....	23
3.2.1 Elektrochemische Korrosion .....	24
3.2.2 Kriechströme durch Elektrolytbildung .....	26
3.2.3 Elektrochemische Migration .....	26
3.2.4 Conductive Anodic Filaments .....	32
3.2.5 Schwefelinduzierte Kriechkorrosion .....	34

<b>4</b>	<b>Optimierte Auslegung von Prüfstrategien für den Effekt der Feuchteadsorption.....</b>	<b>36</b>
4.1	Prüfkonceptermittlung und -auslegung.....	36
4.2	Feuchte- und betauungsspezifische Prüfverfahren.....	42
4.3	Statistisch optimierte Bewertung von Umweltprüfungen .....	44
4.4	Ausfallmechanismus und Fehlerauswirkung.....	52
4.5	Vorgehensmodell zur Fehleridentifikation und -verifikation .....	57
<b>5</b>	<b>Bewertung unterschiedlicher Einflussgrößen bei Betauung .....</b>	<b>60</b>
5.1	Analyse funktionsrelevanter Signalparameter .....	60
5.2	Zuverlässigkeitsbewertung von Lotpastensystemen .....	67
5.3	Prüflingsüberwachung bei Feuchte-/Betauungsprüfungen .....	71
5.4	Migrationsneigung bleifreier Oberflächenpassivierungen.....	75
5.5	Bauelementabhängige Betauungsrobustheit .....	81
5.6	Einfluss schädlicher Gase.....	85
<b>6</b>	<b>Klimazuverlässigkeit durch Schutzlacke.....</b>	<b>90</b>
6.1	Schutzlackarten und -auftragsverfahren .....	90
6.2	Versuchs- und Bewertungsstrategie .....	93
6.3	Optische Inspektion der Versuchsmuster.....	97
6.4	Zuverlässigkeit der unlackierten Baugruppe .....	99
6.5	Bewertung der Schutzwirkung verschiedener Lacksysteme .....	101
<b>7</b>	<b>Automotivegerechte Prüfanforderungen.....</b>	<b>105</b>
7.1	Felddatenanalyse betauungsbedingter Ausfälle .....	105
7.2	Makroklimatische Anforderungen an das Gesamtfahrzeug .....	108
7.3	Mikroklimatische Betauungsanforderungen im Automobil.....	116

7.3.1	Simulation solarer Strahlung .....	118
7.3.2	Aktive Fahrzeugaufwärmphase bei tiefen Außentemperaturen .....	123
7.3.3	Passive Fahrzeugaufwärmung durch Kalt-Warm-Umlagerung .....	125
7.4	Anwendbarkeit bestehender Lebensdauermodelle .....	128
7.5	Optimierung bestehender Prüfverfahren .....	134
<b>8</b>	<b>Einsatz der Simulation für die Robustheitsbewertung in den frühen Entwicklungsphasen.....</b>	<b>137</b>
8.1	Leiterplattenlayout und dreidimensionales Platinenmodell.....	139
8.2	Aufbereitung des 3D-Modells für die Strömungssimulation .....	141
8.3	Ergebnisse der Betaungs- und Temperatursimulation.....	143
8.4	Verifikation der Simulationsergebnisse .....	145
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>148</b>
<b>10</b>	<b>Summary.....</b>	<b>150</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>152</b>