

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

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungen.....	IV
1 Einleitung.....	1
2 Aktuelle Entwicklungen bei der Zuverlässigkeitssicherung elektronischer Systeme	5
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
3 Physikalisch-chemische Grundlagen	18
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

4 Optimierte Auslegung von Prüfstrategien für den Effekt der Feuchteadsorption.....	36
4.1 Prüfkonzeptermittlung 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
5 Bewertung unterschiedlicher Einflussgrößen bei Betauung	60
5.1 Analyse funktionsrelevanter Signalparameter	60
5.2 Zuverlässigkeitssbewertung 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
6 Klimazuverlässigkeit durch Schutzlacke.....	90
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
7 Automotivegerechte Prüfanforderungen.....	105
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
8	Einsatz der Simulation für die Robustheitsbewertung in den frühen Entwicklungsphasen.....	137
8.1	Leiterplattenlayout und dreidimensionales Platinenmodell.....	139
8.2	Aufbereitung des 3D-Modells für die Strömungssimulation.....	141
8.3	Ergebnisse der Betauungs- und Temperatursimulation.....	143
8.4	Verifikation der Simulationsergebnisse	145
9	Zusammenfassung und Ausblick	148
10	Summary.....	150
	Literaturverzeichnis	152