

# Risikobasierte Qualitätsabsicherung elektrisch/elektronischer Systeme im Fahrzeugbau

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

**Dipl.-Phys. Dipl.-Math. Christof Horn**

aus Marbach am Neckar

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. (BR) Prof. h.c. (TJ) T. Pfeifer  
Priv.-Doz. Dr.-Ing. Thomas Prefi

Tag der mündlichen Prüfung:

19. Dezember 2007

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2. Stand der Technik</b>	<b>7</b>
2.1. Einsatzbereiche und Aufbau von E/E-Systemen im Automobil	7
2.1.1. E/E-Komponenten und Bussysteme im Fahrzeug	7
2.1.2. Architektur von Infotainment-Systemen	7
2.2. Prozessmodelle zur Entwicklung von E/E-Systemen	8
2.2.1. Wasserfall-Modell	8
2.2.2. V-Modell	9
2.2.3. W-Modell	10
2.2.4. Bewertung	10
2.2.5. Prozessmodell Automotive SPICE	11
2.2.6. Erweitertes ISO/OSI-Schichtenmodell	13
2.3. Qualitätsbegriffe	14
2.3.1. Definition von „Qualität“	14
2.3.2. Definition von „Software-Qualität“	15
2.3.3. Kano-Modell	15
2.3.4. Fazit	16
2.4. Grundbegriffe der Absicherung	16
2.4.1. Absichern, Testen und Erproben	16
2.4.2. Use Cases	17
2.4.3. Requirements	17
2.4.4. Funktionen	17
2.4.5. Test Cases und Test-Vektoren	17
2.4.6. Kundennahe Test Cases	18
2.4.7. Testtools	19
2.5. Methoden zur Absicherung von Fahrzeug-Systemen	19
2.5.1. Absicherungen entlang des Entwicklungsprozesses	19
2.5.2. TPI Automotive	21
2.5.3. Statistische Versuchsmethodik (Design of Experiments)	22
2.6. Methoden zur Absicherung von Software	24
2.6.1. Norm IEEE 829 zur Software-Testdokumentation	24
2.6.2. White box und black box Tests	24
2.6.3. Freies Testen und strukturiertes Testen nach Test Cases	25
2.6.4. Funktionsorientierte Testmethoden	25
2.6.5. Strukturorientierte Testmethoden	26
2.6.6. Äquivalenzklassen von Zuständen	27
2.6.7. Notation von Test Cases	28
2.6.8. Modellbasierte Systeme und formale Verifikation	31
2.7. Einsatz von Tools	31
2.7.1. DOORS – Requirement Management (Telelogic)	31
2.7.2. Test Director/Quality Center – Test Management (Mercury/HP)	32
2.7.3. Beispiel einer OEM-spezifischen Datenbank	32
2.7.4. Konvergenz der Produktdaten-Systeme	34
<b>3. Detaillierung des Handlungsbedarfs und Lösungsansatz</b>	<b>35</b>
3.1. Zusammenfassung des Standes der Technik	35

3.2.	Zielsetzung und Lösungsansatz der Arbeit .....	36
3.2.1.	Implementierung risikobasierter Testketten .....	36
3.2.2.	Synchronisation der Testlandschaft .....	36
3.2.3.	Standardisierte Absicherung von Consumer-Elektronik im Fahrzeug .....	37
3.3.	Abgrenzung der Fragestellung .....	37
<b>4.</b>	<b>Implementierung risikobasierter Testketten.....</b>	<b>39</b>
4.1.	Etablierung durchgängiger Testketten .....	39
4.1.1.	Spezifikation als Ausgangspunkt .....	39
4.1.2.	Testinhalte.....	41
4.1.3.	Testplanung .....	43
4.1.4.	Testdurchführung und Dokumentation .....	48
4.1.5.	Fehlermanagement.....	55
4.2.	Kundenorientierung .....	58
4.2.1.	Kundennahe Absicherung .....	58
4.2.2.	Erweiterung des V-Modells in Richtung Kunde.....	59
4.2.3.	Kundennahe Anforderungen .....	60
4.2.4.	Kundenrelevante Varianten .....	61
4.2.5.	Praxisbeispiel für kundennahe Test Cases .....	63
4.3.	Risikobasierte Steuerung der Absicherung .....	66
4.3.1.	Risikobasiertes Testen .....	66
4.3.2.	Erstellprozess risikobasierter Testinhalte .....	66
4.3.3.	Bestimmung des Risikos.....	67
4.3.4.	Lebenszyklus von Test Cases .....	75
4.3.5.	Sättigung der Testeffizienz .....	77
4.3.6.	Risikobasierte Dokumentation freier Tests .....	78
4.4.	Strukturierung der Absicherung nach Funktionen .....	78
4.4.1.	Wechsel in der Sichtweise von Komponenten zu Funktionen .....	78
4.4.2.	Funktionale Gliederung von Test Cases .....	81
4.4.3.	Funktionslisten statt Test Cases.....	83
4.4.4.	Reifegrad von Funktionen .....	83
4.4.5.	Vorteile des funktionalen Ansatzes .....	86
4.5.	Testprofile als teilstrukturierte Vorgehensweise.....	86
4.5.1.	Freies Testen versus strukturiertes Testen .....	86
4.5.2.	Profiltests .....	88
4.5.3.	Erstellprozess für Testprofile .....	89
4.5.4.	Dokumentation der Testdurchführung bei Test-Profilen .....	90
<b>5.</b>	<b>Synchronisation der Testlandschaft .....</b>	<b>91</b>
5.1.	Zielsetzung der Absicherung .....	91
5.1.1.	Begriffsklärung und Vorgehensweise .....	91
5.1.2.	Zusammenhang zwischen Absicherung und Qualitätszielen .....	91
5.1.3.	Bestimmung der Qualitätsziele im Fahrzeug .....	92
5.1.4.	Transfer des Absicherungsziels auf den Zustandsraum .....	97
5.2.	Analyse der Testorte .....	98
5.2.1.	Charakterisierung und Bewertung der Testorte .....	98
5.2.2.	Analyse anhand des Vernetzungsgrades.....	100
5.2.3.	Einordnung entlang des Entwicklungsprozesses .....	101
5.2.4.	Praxisbeispiel: vernetzter HIL .....	102
5.3.	Horizontale Synchronisation der Testorte anhand des Vernetzungsgrades .....	105
5.3.1.	Ideale Testbereiche im Absicherungs-Portfolio .....	105
5.3.2.	Strategische Bereinigung des Absicherungs-Portfolios .....	106
5.3.3.	Einhaltung von Absicherungsstufen zur Erhöhung der Testeffizienz.....	107
5.3.4.	Größe und Komplexität der Testlandschaft .....	109

5.4.	Vertikale Synchronisation der Testorte entlang der Entwicklungsphasen.....	110
5.4.1.	Synchronisation der Testorte entlang der Testkette .....	110
5.4.2.	Phasen des Entwicklungsprozesses.....	111
5.4.3.	Phasen des Absicherungsprozesses .....	112
5.5.	Steuerung der Testlandschaft anhand des Reifegrades.....	116
5.5.1.	Fehlerverlauf entlang der Absicherungsphasen .....	116
5.5.2.	Steuerung auf Basis der Fehlerarten.....	117
5.5.3.	Accepted Quality Level (AQL) und Testende-Kriterien.....	118
5.6.	Organisatorische Umsetzung.....	119
5.6.1.	Etablierung eines zentralen Testmanagements.....	119
5.6.2.	Aufteilung der Testorte zwischen OEM und Zulieferern.....	120
5.6.3.	Implementierungsstrategie in einem bestehenden Entwicklungsprojekt .....	123
5.7.	Bewertungsbeispiel .....	124
<b>6.</b>	<b>Standardisierte Absicherung von Consumer-Elektronik im Fahrzeug .....</b>	<b>125</b>
6.1.	Öffnung der Fahrzeug-Architekturen .....	125
6.2.	Problemfelder bei der Integration von Consumer-Produkten .....	125
6.2.1.	Produkt.....	126
6.2.2.	Prozesse.....	129
6.2.3.	Projekt.....	130
6.2.4.	Personen .....	130
6.3.	Lösungsansätze.....	131
6.4.	Anpassung der OEM-internen Prozesse .....	131
6.4.1.	Flexibilisierung des Spezifikationsprozesses.....	131
6.4.2.	Synchronisation zwischen Hardware und Software im Absicherungsprozess ..	133
6.5.	Standardisierung .....	134
6.5.1.	Standardisierung der Consumer-Elektronik .....	134
6.5.2.	Standardisierungstiefen.....	135
6.5.3.	Probleme bei der Etablierung von Standards .....	135
6.5.4.	OEM-seitige Standardisierung .....	136
6.6.	Nutzung von Quasi-Standards .....	137
6.6.1.	Strukturierung des Marktes.....	137
6.6.2.	Zusammenarbeit zwischen OEM und Zulieferer .....	137
6.6.3.	Ermittlung von Quasi-Standards .....	138
6.6.4.	Praxisbeispiel Medienwiedergabe.....	138
6.6.5.	Praxisbeispiel Telekommunikationsdienste .....	143
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>149</b>
7.1.	Übersicht über die wichtigsten Ergebnisse.....	149
7.2.	Offene Handlungsfelder.....	151
7.3.	Übertragbarkeit auf andere Systeme und Branchen .....	151
<b>8.</b>	<b>Verzeichnisse.....</b>	<b>153</b>
8.1.	Literaturverzeichnis.....	153
8.2.	Abbildungsverzeichnis.....	156
8.3.	Tabellenverzeichnis .....	160
8.4.	Glossar und Abkürzungsverzeichnis .....	161
<b>9.</b>	<b>Bildungsgang .....</b>	<b>162</b>