

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	2
1.2 Zusammenfassung der Problemstellung im Projekt . . . . .	5
1.3 Forschungsfragen . . . . .	7
1.4 Ergebnisse . . . . .	8
1.5 Aufbau . . . . .	9
1.6 Vorveröffentlichungen . . . . .	9
<b>2 Grundlagen</b>	<b>13</b>
2.1 Die Fundamente des Testens . . . . .	13
2.1.1 Das V-Modell als etablierter Entwicklungsprozess im Automobilbau . . . . .	14
2.1.2 Der allgemeine Testprozess . . . . .	17
2.2 Modellbildung und Simulation . . . . .	19
2.2.1 Der Begriff . . . . .	20
2.2.2 Der Prozess . . . . .	20
2.2.3 Die Modellierung . . . . .	21
2.3 Grundlagen der Fahrzeugtechnik . . . . .	23
2.3.1 Die funktionsorientierte Entwicklung in der Automobilbranche . . . . .	23
2.3.2 Vernetzung in Fahrzeugen - Bussysteme und ihre Kommunikation . . . . .	25
2.4 Die Rolle von Hard- und Software im Fahrzeug . . . . .	30
2.4.1 Die Ebene der Hardware im Fahrzeug . . . . .	30
2.4.2 Die Ebene der Software im Fahrzeug . . . . .	31
2.5 Automotive Software-Engineering . . . . .	33
2.5.1 Softwaretechnische Grundkonzepte - Agile Methoden, eXtreme Programming und Objektorientierung . . . . .	34
2.5.2 Modellbasierte Software-Entwicklung - MDA, UML und Sprachprofile . . . . .	38
2.5.3 Generative Software-Entwicklung . . . . .	41

xi

2.6	Grundlagen zu Integralen Sicherheitssystemen . . . . .	48
2.6.1	Allgemeines zu Fahrerassistenzsystemen . . . . .	49
2.6.2	Integrale Sicherheitssysteme . . . . .	50
2.6.3	AEB/FCW-Systeme . . . . .	51
2.6.4	Sensorik . . . . .	52
2.6.5	Algorithmik . . . . .	54
2.6.6	Aktorik . . . . .	55
2.7	Zusammenfassung . . . . .	56
<b>3</b>	<b>Allgemeine Ansätze zur Entwicklung und zum Test von Fahrzeugfunktionen</b>	<b>57</b>
3.1	Entwicklung und Absicherung von Fahrzeugfunktionen . . . . .	58
3.2	Test und Absicherung von Aktiven Sicherheitssystemen in Consumer-Tests . . . . .	62
3.2.1	Die Consumer-Test-Organisation EuroNCAP . . . . .	62
3.2.2	Das EuroNCAP AEB Test Protokoll . . . . .	68
3.2.3	Toleranzen in den EuroNCAP Testfällen . . . . .	71
3.2.4	Sonstige Consumer-Test-Organisationen . . . . .	74
3.3	Die Bedeutung von Consumer Tests für die Volkswagen AG . . . . .	77
3.4	Zusammenfassung . . . . .	79
<b>4</b>	<b>Moderne Ansätze zum Test und zur Absicherung von Aktiven Sicherheitssystemen in Consumer Tests - ein Systematic Literature Review</b>	<b>81</b>
4.1	Methodik für ein Systematic Literature Review . . . . .	82
4.2	Hintergrund und Motivation . . . . .	82
4.3	Protokoll der Studie . . . . .	83
4.3.1	Forschungsfragen . . . . .	83
4.3.2	Suchausdruck für die Online-Bibliotheken und -Datenbanken . . . . .	83
4.3.3	Auswahl der Online-Bibliotheken und Datenbanken . . . . .	84
4.3.4	Auswahlkriterien für die Studien und Beiträge . . . . .	85
4.3.5	Study Quality Assessment Kriterien . . . . .	88
4.4	Ergebnisse zum Systematic Literature Review “Simulation von Consumer Tests” . . . . .	90
4.4.1	Ergebnisse nach Eingabe des Suchstrings . . . . .	90
4.4.2	RQ-1: Konzeptsuche zur Simulation von Consumer Tests - Ergebnisse . . . . .	92
4.4.3	RQ-2: Toleranzuntersuchung und ihre Bewertung - Ergebnisse . . . . .	96
4.4.4	RQ-3: Methodische Entwicklung von Simulationsinfrastruktur - Ergebnisse . . . . .	98

4.5	Diskussion und Analyse der Ergebnisse . . . . .	101
4.5.1	RQ-1: Konzeptsuche zur Simulation von Consumer Tests . . . . .	101
4.5.2	RQ-2: Toleranzuntersuchung und ihre Bewertung . . . . .	102
4.5.3	RQ-3: Methodische Entwicklung von Simulationsinfrastruktur . . . . .	104
4.6	Inhaltliche Analyse der Beiträge . . . . .	105
4.6.1	RQ-1: Konzeptsuche zur Simulation von Consumer Tests . . . . .	106
4.6.2	RQ-2: Toleranzuntersuchung und ihre Bewertung . . . . .	109
4.6.3	RQ-3: Methodische Entwicklung von Simulationsinfrastruktur . . . . .	114
4.7	Validitätsbetrachtungen . . . . .	120
4.8	Schlussfolgerung . . . . .	124
4.9	Zusammenfassung . . . . .	125
<b>5</b>	<b>SimAQuAss4ConTest - Eine Methode zur Entwicklung einer Simulationsumgebung</b>	<b>127</b>
5.1	Vorangestellte Überlegungen und Argumentationen . . . . .	128
5.1.1	Zum Begriff der Methode - eine Erläuterung . . . . .	128
5.2	Die Methode im Überblick . . . . .	131
5.3	Prozess zur Analyse und Modellierung des Untersuchungsraumes . . . . .	132
5.3.1	Analyse des Entwicklungsprozesses für eine Simulation . . . . .	133
5.3.2	Definition der Fragestellung . . . . .	134
5.4	Prozess zur Entwicklung einer adäquaten Simulationsinfrastruktur . . . . .	135
5.4.1	Identifikation der Zielgrößen . . . . .	135
5.4.2	Konzeptionelle Vorüberlegungen und Technikauswahl . . . . .	136
5.4.3	Modellierung des Untersuchungsgegenstandes . . . . .	136
5.4.4	Design der Simulationsarchitektur . . . . .	136
5.5	Prozess zur Entwicklung eines Bewertungsverfahrens . . . . .	138
5.5.1	Identifikation von Signalen zur Bewertung . . . . .	138
5.5.2	Ableitung von Metriken . . . . .	138
5.5.3	Design von Meta-Metriken . . . . .	139
5.6	Prozess zur Durchführung der Simulation und Auswertung . . . . .	140
5.6.1	Entwurf einer Untersuchung . . . . .	140
5.6.2	Durchführung des Experiments . . . . .	144
5.6.3	Analyse und Diskussion der Ergebnisse . . . . .	145
5.6.4	Testberichterstellung . . . . .	145
5.7	Zusammenfassung . . . . .	146

<b>6 Analyse und Modellierung des Untersuchungsraumes</b>	<b>149</b>
6.1 Identifikation von Aufgaben im Entwicklungsprozess . . . . .	149
6.2 Modellierung und Visualisierung von Entwicklungsschritten und -prozessen . . . . .	151
6.2.1 Ziel und Notation von Aktivitätsdiagrammen . . . . .	151
6.2.2 Methodik zur Beschreibung von Prozessen . . . . .	154
6.3 Ableitung von Anwendungsfällen . . . . .	156
6.3.1 Ziel und Notation von Use-Case-Diagrammen . . . . .	156
6.3.2 Die Methodik zu Use-Case Diagrammen . . . . .	158
6.3.3 Zusammenführung und Zuordnung der Aufgaben innerhalb des Entwicklungsprozess . . . . .	160
6.4 Entwicklung von Fragestellungen als Teil der Aufgabenbewältigung . . . . .	161
6.5 Beispiel Consumer Tests . . . . .	164
6.5.1 Aktivitätsdiagramm zu Consumer Tests . . . . .	164
6.5.2 Anwendungsfälle im Rahmen der Entwicklung von Aktiven Sicherheitssystemen . . . . .	167
6.5.3 Integration der Anwendungsfälle in das V-Modell . . . . .	168
6.5.4 Der Fragenkatalog zur Toleranzanalyse von Consumer Tests . . . . .	170
6.6 Zusammenfassung . . . . .	172
<b>7 Entwicklung einer adäquaten Simulationsinfrastruktur</b>	<b>173</b>
7.1 Identifikation von Zielgrößen . . . . .	173
7.2 Konzeptionelle Vorüberlegungen und Technikauswahl . . . . .	175
7.3 Pre-Processing: Die Testscenario-Erstellung mit MontiCore . . . . .	177
7.3.1 Das Framework MontiCore . . . . .	178
7.3.2 Entwurf einer Szenario-DSL . . . . .	178
7.3.3 Das Meta-Modell der Scenario-DSL . . . . .	181
7.3.4 Technische Komponenten der Scenario-DSL . . . . .	188
7.4 Pre-Processing: Modellierung von Parametervariationen zur Trajektorien-Generierung . . . . .	189
7.4.1 Modellierung zur Variation von Parametern zur Strukturierung von Testfällen . . . . .	190
7.4.2 Anwendungsmöglichkeiten von modellbasierten Pfaden zur strukturierten Parametervariation . . . . .	191
7.4.3 Beherrschung der Komplexität des Modells . . . . .	193
7.5 Modellierung der Sicherheitsfunktion . . . . .	194
7.5.1 Komplexität von Modellen . . . . .	195

7.5.2	Kontinuität der Eingangs- und Ausgangsdaten . . . . .	196
7.5.3	Echtzeit und Skalierbarkeit . . . . .	196
7.6	Infrastruktur zur Toleranzanalyse in Consumer Tests - eine Fallstudie . . . . .	197
7.6.1	Virtual Test Drive . . . . .	199
7.6.2	Automotive Data-and Time-triggered Framework (ADTF) . . . . .	199
7.6.3	Ergänzende Kernkomponenten . . . . .	199
7.6.4	Anwendung der Simulationsumgebung zur Toleranzanalyse von Consumer Tests . . . . .	200
7.6.5	Nutzung der strukturierten Parametervariation . . . . .	201
7.7	Zusammenfassung . . . . .	202
<b>8</b>	<b>Bewertungsverfahren</b>	<b>205</b>
8.1	Literarische Betrachtung zu (Meta-)Metriken . . . . .	206
8.2	Metriken . . . . .	207
8.2.1	Das Goal-Question-Metric Paradigma (GQM) . . . . .	209
8.2.2	Funktionsmetriken - eine eigene Definition . . . . .	212
8.2.3	Technische Erfassung von Signalen . . . . .	212
8.3	Meta-Metriken . . . . .	216
8.3.1	Meta-Metriken als Methodik für die Qualitätssicherung von Aktiven Sicherheitssystemen . . . . .	217
8.3.2	Zur Notation und Lesart von Meta-Metriken . . . . .	219
8.3.3	Anwendung von Meta-Metriken auf V-Modell . . . . .	220
8.4	Fallstudie . . . . .	221
8.5	Zusammenfassung . . . . .	224
<b>9</b>	<b>Die Durchführung von Simulationsläufen und ihre Auswertung</b>	<b>225</b>
9.1	Zum Entwurf einer Untersuchung . . . . .	225
9.2	Aufbau eines Experiments - Details zu Untersuchungsraum und -tiefe . . . . .	227
9.2.1	Gegenstand der Untersuchung . . . . .	227
9.2.2	Zweck der Untersuchung . . . . .	228
9.2.3	Qualitativer Schwerpunkt . . . . .	228
9.2.4	Perspektive . . . . .	228
9.2.5	Kontext . . . . .	228
9.3	Planung eines Experiments . . . . .	229
9.3.1	Kontextauswahl . . . . .	229
9.3.2	Variablenauswahl . . . . .	229

9.3.3	Subjektauswahl . . . . .	230
9.3.4	Wahl der Design Typen . . . . .	230
9.3.5	Auswahl von Instrumentation . . . . .	231
9.3.6	Zur Validität des Experiments . . . . .	231
9.4	Durchführung des Experiments . . . . .	232
9.5	Analyse und Diskussion der Ergebnisse . . . . .	233
9.5.1	Interne Validitätsbetrachtungen . . . . .	233
9.5.2	Externe Validitätsbetrachtungen . . . . .	234
9.5.3	Konstruktive Validitätsbetrachtungen . . . . .	234
9.6	Rückkopplung und Zuordnung der Ausgangsfragen . . . . .	235
9.7	Fallstudie . . . . .	235
9.7.1	Art der Untersuchung und Forschungsfragen . . . . .	235
9.7.2	Aufbau des Experiments . . . . .	236
9.7.3	Planung des Experiments . . . . .	236
9.7.4	Durchführung des Experiments . . . . .	237
9.7.5	Auswertung des Experiments . . . . .	238
9.7.6	Validitätsbetrachtungen . . . . .	239
9.7.7	Abschluss der Untersuchung . . . . .	241
9.8	Zusammenfassung . . . . .	242
<b>10</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerung</b>	<b>245</b>
10.1	Forschungsfrage RQ1 . . . . .	245
10.2	Forschungsfrage RQ2 . . . . .	246
10.3	Forschungsfrage RQ3 . . . . .	247
10.4	Validitätsbetrachtungen zur Methodik . . . . .	247
10.4.1	Interne Validitätsbetrachtungen . . . . .	247
10.4.2	Externe Validitätsbetrachtungen . . . . .	248
10.4.3	Konstruktive Validitätsbetrachtungen . . . . .	249
10.5	Zusammenfassung . . . . .	249
<b>11</b>	<b>Ausblick auf zukünftige Arbeitsfelder</b>	<b>251</b>
11.1	Modellbasierte und generative Methoden des Software Engineering . . . . .	251
11.2	Einsatz künstlicher Intelligenz und Felddatengewinnung . . . . .	252
11.3	Einsatz weiterer agiler Methoden - Quo vadis, Automotive Industria? . . . . .	252
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>255</b>

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>283</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>287</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>289</b>
<b>Related Interesting Work from the SE Group, RWTH Aachen</b>	<b>291</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>301</b>