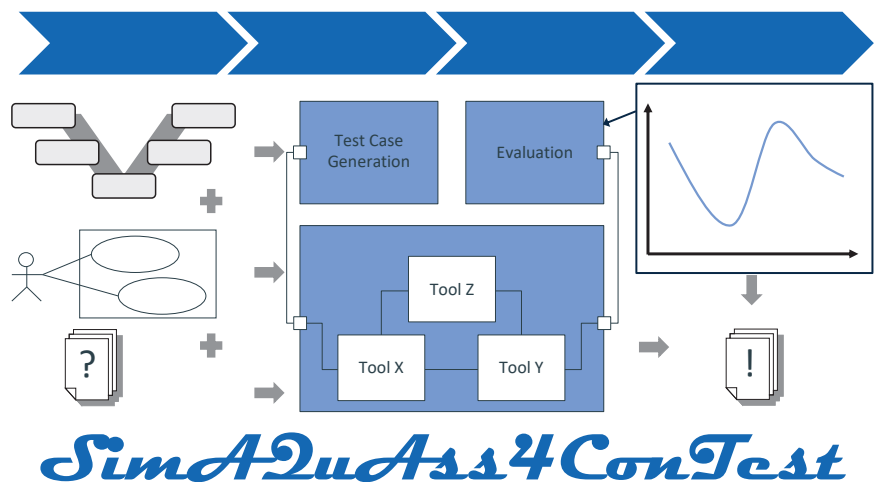


Stefan Kühnel

Eine agile Methode zur simulativen Qualitätssicherung von Aktiven Sicherheitssystemen



Eine agile Methode zur simulativen Qualitätssicherung von Aktiven Sicherheitssystemen

Von der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der
RWTH Aachen University zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt

von

**Dipl. Wirt.-Inf.
Stefan Kühnel**

aus

Minden in Westfalen

Berichter: Univ. Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe
Assoc. Prof. Dr. rer. nat. Christian Berger

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Dezember 2021

Aachener Informatik-Berichte, Software Engineering

herausgegeben von
Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe
Software Engineering
RWTH Aachen University

Band 51

Stefan Kühnel
RWTH Aachen University

Eine agile Methode zur simulativen Qualitäts- sicherung von Aktiven Sicherheitssystemen

Shaker Verlag
Düren 2022

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2021)

Copyright Shaker Verlag 2022

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8427-6

ISSN 1869-9170

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Verzichtserklärung

Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen Aktiengesellschaft.

Disclaimer

The results, opinions and conclusions expressed in this PhD thesis are not necessarily those of Volkswagen Aktiengesellschaft.

Wolfsburg, den 03. Juni 2021

Handelsmarken erscheinen in dieser Dissertation ohne entsprechendes Handelsmarken-Symbol; sie sind Eigentum des jeweiligen Rechteinhabers. Es besteht keine Intention der Rechtsverletzung. Ihre Verwendung dient dem Nutzen des Markeninhabers.

Kurzfassung

Kontext: Neben dem aktuellen Bestreben die Elektrifizierung des Antriebs von Automobilen durch Innovationen voranzutreiben kommt der Integration von Fahrerassistenzsystemen im Rahmen der Automobilentwicklung eine besondere Bedeutung sowohl zur Steigerung des Fahrkomforts als auch zur Verbesserung der Sicherheit zu. Eine gewichtige Rolle spielen dabei Consumer Tests wie z.B. von Organisationen wie EuroNCAP, welche sowohl als Treiber aber auch zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der getesteten Sicherheitssysteme dient. Um die Qualität der dafür entwickelten Software besser beurteilen und steigern zu können, bilden Tests sowohl in ausgewiesenen Prüfarealen unter realen Bedingungen als auch simulationsbasierte Tests in synthetischen Umgebungen geeignete Ansätze, den Herausforderungen der kontinuierlichen Qualitätsverbesserung agil zu begegnen, wenngleich beide Ansätze über unterschiedliche Hürden und Grenzen verfügen. Speziell der hier betrachtete simulative Ansatz mündet nicht selten in dem Dilemma, dass die Entwicklung geeigneter Umgebungen ebenfalls ein hohes Maß an Ressourcen wie die eigentliche Systementwicklung benötigt. Dies hat zur Folge, dass diese weiter parallel voranschreitet und die Simulationsumgebung aufgrund des hohen Aufwandes nicht rechtzeitig einsetzbar ist. Solch eine Möglichkeit kann bspw. dann eintreten, wenn dem Aspekt der Modellbildung mit dem Güteziel einer möglichst engen Realitätsnähe ohne Rückkopplung auf die eingangs zu definierende Fragestellung: “Was soll durch die Simulation beantwortet werden?” erfolgt.

Ziel: Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, den komplexen Entwicklungsprozess von Aktiven Sicherheitssystemen im Rahmen der Consumer Tests durch einen simulativen Ansatz zur Verbesserung der Softwarequalität zu unterstützen. Weiterhin soll durch die Verhaltensanalyse von Algorithmen die Ressourcenallokation während der Entwicklung und der notwendigen realen Tests verbessert und damit effektiver gestaltet werden.

Methode: Nach der Durchführung eines Systematic Literature Reviews (SLR) zu Prüfung evtl. vorhandener Ansätze und Methoden zur Entwicklung solcher Simulationsumgebungen wird eine eigene Methode entwickelt, vorgestellt und unter Berücksichtigung der vorliegenden Projektbedingungen im Rahmen einer Fallstudie angewendet.

Ergebnisse: Die Analyse des Projektkontextes kommt zu dem Ergebnis, dass es durchaus Simulationsaktivitäten gibt, jedoch eine strukturierte Herangehensweise zu ihrer Entwicklung fehlt. Das Systematic Literature Review bestätigt dieses Ergebnis, sodass der Bedarf der Entwicklung einer agilen Methode zur simulativen Qualitätssicherung von Aktiven Sicherheitssystemen insbesondere mit Blick auf Consumer Tests aufgezeigt wird. Die vorgestellte Methode umfasst

vier Bausteine: (a) die Analyse und Modellierung des Untersuchungsraumes, (b) die Entwicklung einer adäquaten Simulationsinfrastruktur, (c) die Entwicklung von Bewertungsverfahren und (d) die Durchführung von Simulationsläufen sowie ihrer Auswertung. Zum Schluss wird die Methode mit Hilfe einer Fallstudie für ein Proof of Concept angewendet.

Schlussfolgerung: Es wird aufgezeigt, dass die Methode während der qualitativen Bewertung von Softwarekomponenten auf simulativer Basis einen positiven Beitrag leistet, speziell dort, wo Äquivalenzklassentests nicht ausreichend sind, Consumer Test Szenarien hinreichend zu testen. Einschränkungen und Erweiterungsbedarf der Methode werden vorrangig in der Übertragung auf andere Kontexte im Fahrerassistentenumfeld und die Erweiterung um zusätzliche Consumer Test Szenarien wie den Fußgängerschutz gesehen.

Abstract

Context: In addition to the current efforts to advance the electrification of the powertrains through innovations, the integration of driver assistance systems in the context of automotive development is of particular importance, both to increase driving comfort and to improve vehicle safety. Consumer tests, e.g. from organizations such as EuroNCAP, play an important role, which serves both as a key driver for safety improvement and to assess the performance of the underlying safety systems. In order to be able to better assess and increase the quality of the software developed for this purpose, tests both in designated test areas under real conditions and simulation-based tests in synthetic environments are suitable approaches to meet the challenges of continuous quality improvement in an agile way, although both approaches have different hurdles and limits. In particular, the simulative approach considered here often leads to the dilemma that the development of suitable simulation environments also requires a high amount of resources like the actual system development. As a result, this continues to progress in parallel and the simulation environment cannot be used in adequate time due to the high effort. Such a possibility can occur, for example, if the aspect of modeling with the quality goal of being as realistic as possible is defined without feedback to the question at the beginning: “What should be answered by the simulation?”.

Goal: The main goal of this thesis is to support the complex development process of active safety systems in the context of consumer tests with a simulative approach to improve software quality. Furthermore, the allocation of resources during development and the necessary real tests should be improved and thus made more effective through the behavioral analysis of algorithms.

Method: After carrying out a Systematic Literature Review (SLR) to examine any existing approaches and methods for the development of such simulation environments, a separate method is developed, presented and applied in a case study, taking into account the existing project conditions.

Results: The analysis of the project context comes to the conclusion that there are simulation activities, but a structured approach to their development is missing. The Systematic Literature Review confirms this result, so that the need to develop an agile method for simulative quality assurance of active safety systems, especially with regard to consumer tests, is shown. The method presented comprises four building blocks: (a) the analysis and modeling of the investigation area, (b) the development of an adequate simulation infrastructure, (c) the development of evaluation methods and (d) the implementation of simulation runs and their evaluation. Finally, the method is applied with the help of a case study for a proof of concept.

Conclusion: It is shown that the method makes a positive contribution during the qualitative assessment of software components on a simulative basis, especially where equivalence class tests are not sufficient to adequately test consumer test scenarios. Limitations and the need for expansion of the method are primarily seen in the transfer to other contexts in the driver assistance environment and the expansion to additional consumer test scenarios such as pedestrian protection.

Danksagung

Eine Danksagung ist ein wichtiges und zugleich herausforderndes, weil emotionales Dokument: Es dokumentiert die Würdigung all derer, die Teil jenen Erfolgs einer Sache oder Person sind, welcher ohne ihr Wort und ihre Tat nicht erreichbar gewesen wäre. Die Danksagung ist Ausdruck der tiefen Verbundenheit zwischen dem Verfasser und denjenigen, denen er seine Dankbarkeit entgegenbringt. Gleichwohl lastet die Bürde der vollständigen und fehlerfreien Erwähnung aller Beteiligten am Erfolg schwer auf den Schultern des Verfassers. Dennoch sei an dieser Stelle die Gelegenheit ergriffen, Danke zu sagen, wenngleich die Gefahr der fehlenden Erwähnung wichtiger Weggefährten allseits besteht. Möge sie mir nicht widerfahren!

Ich bedanke mich bei all den Menschen, die mich auf dem Wege dieser Arbeit begleitet und unterstützt haben. Im Besonderen möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Bernhard Rumpel bedanken, der mir die Möglichkeit und den Rückhalt gegeben hat, diese Arbeit als externer Doktorand bei der Volkswagen AG in Wolfsburg zu erarbeiten und fertig zu stellen. Speziell danke ich ihm für seine Betreuung meiner Arbeit, sein Feedback und sein mir entgegen gebrachtes Vertrauen, obwohl ich nur begrenzt am Lehrstuhlleben teilnehmen konnte. Herzlich bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. Christian Berger von der Chalmers University of Technology, der als Zweitgutachter und als enger Wegbegleiter diese Arbeit und mich in den ersten Jahren durch intensive Diskussionen entscheidend geprägt hat. Bei Herrn Prof. Dr. Bastian Leibe bedanke ich mich für die Übernahme des Vorsitzes meiner Prüfungskommission. Frau Prof. Dr. Erika Abraham danke ich für die Bereitschaft, als viertes Mitglied der Prüfungskommission teilzunehmen und mich zur Theorie der hybriden Systeme zu prüfen.

Einen großen Dank möchte ich den Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Software Engineering aussprechen, die mich bei den Aufenthalten am Lehrstuhl und bei den Workshops sehr entgegenkommend und freundlich aufgenommen und durch ihr Feedback zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben. Besonders bedanken möchte ich mich bei Dr. Arne Haber und Dr. Dimitri Plotnikov, die mich bei dem Industrieprojekt entscheidend unterstützt haben. Weiterer Dank gilt Sylvia Gunder, Sonja Müßigbrodt und Marita Breuer, die mir bei den organisatorischen Aspekten und bei der Veröffentlichung dieser Arbeit zuvorkommend und tatkräftig halfen. Dr. Oliver Kautz und Dr. Evgeny Kusmenko danke ich für die Antworten auf meine vielen Fragen zur Einreichung, zur mündlichen Prüfung und der Vorbereitung zur Veröffentlichung dieser Dissertation. Sebastian Stüber danke ich für die Organisation des obligatorischen Doktorhutes, womit ich bis zu seiner Nachricht nicht gerechnet hatte.

Bei der Volkswagen AG danke ich Prof. Dr. André Leschke für die Möglichkeit, als Dokto-

rand in der EKSE-5 tätig sein und diese Arbeit anfertigen zu dürfen. Auch danke ich ihm für die Unterstützung bei der Freigabe zur Veröffentlichung meiner Dissertation. Bei Delf Block und Christian Hons bedanke ich mich für die fachliche Unterstützung zu meiner Arbeit. Weiterhin möchte ich mich bei all den Kollegen der EKSE-5 bedanken, die mich in der Zeit bei meiner Arbeit fachlich sowie moralisch begleitet und gelegentlich abseits des Büros davon abgelenkt haben. Ich bin sehr dankbar dafür, dass ich Euch kennenlernen durfte. Sönke Heeren und Vladislavs Serebro danke ich ebenfalls für ihre Unterstützung bei der Umsetzung und den Veröffentlichungen. Danken möchte ich auch Dietmar Spring, der mich in den vergangenen Jahren stets ermutigt und moralisch unterstützt hat, diese Arbeit fertigzustellen.

Zum Schluss möchte ich meiner gesamten Familie für ihre Unterstützung und den nicht nachgebenden Rückhalt während all der Zeit danken. Meinen Eltern danke ich für die Möglichkeit, diesen Weg gehen zu können. Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Frau Vivien, die viele Entbehrungen gerade in der letzten Zeit hinnehmen musste und mir die Freiheit gab, diese Arbeit fertigzustellen. Darüber hinaus danke ich ihr für das Korrekturlesen dieser Arbeit. Danken möchte ich meinen beiden Söhnen, die einige Zeit auf ihren Vater verzichten mussten. Stefan Kiel danke ich an dieser Stelle für die zweite Korrekturlesung. Ich danke Euch!

Minden, Januar 2022

Stefan Kühnel

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
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
2 Grundlagen	13
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 Pro- gramming und Objektorientierung	34
2.5.2 Modellbasierte Software-Entwicklung - MDA, UML und Sprachprofile	38
2.5.3 Generative Software-Entwicklung	41

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
3	Allgemeine Ansätze zur Entwicklung und zum Test von Fahrzeugfunktionen	57
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
4	Moderne Ansätze zum Test und zur Absicherung von Aktiven Sicherheitssystemen in Consumer Tests - ein Systematic Literature Review	81
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
5	<i>SimaQuAss4ConTest</i> - Eine Methode zur Entwicklung einer Simulationsumgebung	127
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

6	Analyse und Modellierung des Untersuchungsraumes	149
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
7	Entwicklung einer adäquaten Simulationsinfrastruktur	173
7.1	Identifikation von Zielgrößen	173
7.2	Konzeptionelle Vorüberlegungen und Technikauswahl	175
7.3	Pre-Processing: Die Testszenario-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 Szenario-DSL	181
7.3.4	Technische Komponenten der Szenario-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
8	Bewertungsverfahren	205
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
9	Die Durchführung von Simulationsläufen und ihre Auswertung	225
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
10	Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerung	245
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
11	Ausblick auf zukünftige Arbeitsfelder	251
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

Literaturverzeichnis	255
-----------------------------	------------

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