

ATZ/MTZ-Fachbuch

Jörg Schäuffele
Thomas Zurawka

Automotive Software Engineering

Grundlagen, Prozesse, Methoden
und Werkzeuge effizient einsetzen

6. Auflage

 Springer Vieweg

ATZ/MTZ-Fachbuch

Die komplexe Technik heutiger Kraftfahrzeuge und Antriebsstränge macht einen immer größer werdenden Fundus an Informationen notwendig, um die Funktion und die Arbeitsweise von Komponenten oder Systemen zu verstehen. Den raschen und sicheren Zugriff auf diese Informationen bietet die Reihe ATZ/MTZ-Fachbuch, welche die zum Verständnis erforderlichen Grundlagen, Daten und Erklärungen anschaulich, systematisch, anwendungsorientiert und aktuell zusammenstellt.

Die Reihe wendet sich an Ingenieure der Kraftfahrzeugentwicklung und Antriebstechnik sowie Studierende, die Nachschlagebedarf haben und im Zusammenhang Fragestellungen ihres Arbeitsfeldes verstehen müssen und an Professoren und Dozenten an Universitäten und Hochschulen mit Schwerpunkt Fahrzeug- und Antriebstechnik. Sie liefert gleichzeitig das theoretische Rüstzeug für das Verständnis wie auch die Anwendungen, wie sie für Gutachter, Forscher und Entwicklungsingenieure in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie bei Dienstleistern benötigt werden.

Jörg Schäuffele • Thomas Zurawka

Automotive Software Engineering

Grundlagen, Prozesse, Methoden
und Werkzeuge effizient einsetzen

6. Auflage

 Springer Vieweg

Jörg Schäuuffele
Erligheim, Deutschland

Thomas Zurawka
Stuttgart, Deutschland

ATZ/MTZ-Fachbuch
ISBN 978-3-658-11814-3 ISBN 978-3-658-11815-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-11815-0

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2003, 2004, 2006, 2010, 2013, 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Zur Bedeutung von Software im Automobil

Neue Entwicklungsmethoden zur Beherrschung der Komplexität erforderlich

Auch in Zukunft ist Software die Technik, um komplexe Algorithmen im Kraftfahrzeug umzusetzen. Der nahezu exponentiell wachsende Software-Umfang wird getrieben durch die Funktionszunahme in den Feldern sicher, sauber, sparsam und seit einiger Zeit auch im Bereich der Fahrerassistenz. Die Beherrschung der daraus resultierenden Komplexität ist für Fahrzeughersteller wie Zulieferer eine Herausforderung, die nur mit leistungsfähigen Methoden und Werkzeugen möglich ist. Mit ihrer Hilfe gilt es, die sichere Funktion der Software und der Systeme zu gewährleisten. Das vorliegende Buch liefert dazu vielfältige Anregungen zur Gestaltung von Entwicklungsprozessen und zum Einsatz von Methoden und Werkzeugen.

Dr. Siegfried Dais, vormals Stellvertretender Vorsitzender der Geschäftsführung der Robert Bosch GmbH, Stuttgart

Standardisierung von Software und Entwicklungsmethoden

Standardisierung ist ein wichtiger Erfolgsfaktor für die effiziente Entwicklung qualitativ hochwertiger und sicherer Elektrik-/Elektronik- und Software-Systeme. Neben AUTOSAR hat auch der Standard ISO 26262 zur Funktionssicherheit von Straßenfahrzeugen bei Fahrzeugherstellern und deren Zulieferern erheblichen Einfluss sowohl auf die Prozesse, Methoden und Werkzeuge als auch auf die Organisation. Eine Angleichung der Entwicklungsmethodik von der Anforderungsanalyse bis zum Systemtest ist dabei ein unverzichtbarer Schritt. Das vorliegende Buch adressiert dieses Thema in der 6. Auflage in anschaulicher und fundierter Weise.

Dr. Klaus Grimm, Leiter E/E- und Software-Technologien, Daimler AG, Stuttgart

Vom Kostentreiber zum Wettbewerbsvorteil

Technischer Vorsprung in der Automobilindustrie kann nur durch eine Vorreiterrolle in der Software-Technik erreicht werden. Die erfolgreiche Zusammenarbeit von Ingenieuren unterschiedlicher Fachrichtungen in der Systementwicklung erfordert jedoch ein einheitliches Hintergrundwissen, eine gemeinsame Begriffswelt und ein geeignetes Vorgehensmodell. Die in diesem Buch dargestellten Grundlagen und Methoden demonstrieren dies anhand von Beispielen aus der Praxis sehr eindrucksvoll. Neue Entwicklungen und hier vor allem vernetzte Fahrerassistenzsysteme tragen nicht unerheblich zu einer weiteren Komplexitätssteigerung der „Embedded Software“ bei. Strukturierte, nachvollziehbare Regeln und Prozesse – wie in diesem Buch beschrieben – werden dadurch immer unverzichtbarer.

Dr.-Ing. Wolfgang Runge, Runge Consult, Ravensburg

Innovationstreiber Software im Automobil

Software im Automobil zeigt sich als zentraler Innovationstreiber und das nicht nur in den vergangenen 30 Jahren. Auch in den nächsten 10 bis 20 Jahren sind enorme Innovationschübe zu erwarten. Möglich wird das nur auf Basis einer uneingeschränkten Beherrschung des Entwicklungsprozesses für Eingebettete Software im Automobil. Der exponentielle Zuwachs an Funktionalität geht einher mit einer entsprechenden Steigerung der Komplexität und der Softwareumfänge im Automobil. Das wirkt sich auch entsprechend auf die Kosten aus. Eine hohe Systematik und eine wissenschaftliche Durchdringung des Gegenstandes ist deshalb für eine Weiterentwicklung des Themas ein Muss. Dieses Buch liefert einen hervorragenden Beitrag in dieser Richtung, indem es mit großer Systematik alle Gesichtspunkte der Entwicklung von Software im Automobil aufzeigt.

Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Broy, Institut für Informatik, Technische Universität München

Ein Grundlagenbuch mit starkem Praxisbezug

Seit 2005 wird das Buch „Automotive Software Engineering“ mit gutem Erfolg als Vorlesungsskript für die gleichnamige Lehrveranstaltung im Studiengang Fahrzeug- und Motorentechnik an der Universität Stuttgart eingesetzt. Es ist ein Grundlagenbuch, das einen starken Praxisbezug hat. Gerade für Ingenieure ist es eine große Hilfe, da es in einen Umdenkprozess führt: weg vom Bottom-Up-Approach hin zum Top-Down-Prozess. Denn die Fortschritte in der Automobilentwicklung haben es mit sich gebracht, dass die Beherrschung der Komplexität zum wichtigsten Ziel geworden ist. Eine systematische und methodische Vorgehensweise bei der Funktionsentwicklung ist damit unabdingbar geworden. Ausgehend von der Architektur mechatronischer Systeme schlägt das Buch eine Brücke zum Kernprozess, der sich am V-Modell orientiert, um darauf aufbauend die nötigen Methoden und Werkzeuge vorzustellen. Regelmäßige Aktualisierungen machen das Buch zu einem Standardwerk für jeden, der sich mit Funktionsentwicklung in der Fahrzeugtechnik beschäftigt.

Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Reuss, Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart

Ausbildung als Chance und Herausforderung

Gerade für den Raum Stuttgart spielt der Fahrzeugbau eine herausragende Rolle. Die Entwicklungszentren bedeutender Fahrzeughersteller und Zulieferer bieten hier viele Arbeitsplätze. Die Ausbildung in der Software-Technik ist ein fester Bestandteil eines Ingenieurstudienganges an der Universität Stuttgart. Dieses Buch bietet die Chance, praktische Erfahrungen in der Automobilindustrie bereits in der Ausbildung zu berücksichtigen. Viele der vorgestellten Vorgehensweisen können sogar Vorbildcharakter für andere Branchen haben.

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Peter Göhner, Institut für Automatisierungs- und Software-Technik, Universität Stuttgart

Vorwort zur 6. Auflage

Wir freuen uns sehr, dass unser Buch bereits in der 6. Auflage erscheinen kann. Inzwischen liegen auch englische, japanische, koreanische und chinesische Ausgaben vor. Uns erfreut zudem, dass weltweit an zahlreichen Hochschulen Vorlesungen und Studiengänge angeboten werden, die dieses Buch als Grundlage für die Lehrveranstaltungen verwenden.

Im Mittelpunkt der Überarbeitung für die 6. Auflage stehen Fahrerassistenzsysteme sowie das Thema Produktlinien- und Variantenmanagement. Wir haben alle relevanten Kapitel dazu aktualisiert und neue Kapitel dazu aufgenommen.

Auch heute, nach seiner über 125-jährigen Geschichte, ist das Kraftfahrzeug durch eine rasante Weiterentwicklung gekennzeichnet. Seit Anfang der 1970er Jahre ist die Entwicklung geprägt von einem – bis heute anhaltenden – stetigen Anstieg des Einsatzes von elektronischen Systemen und von Software im Fahrzeug. Dies führt zu gravierenden Veränderungen in der Entwicklung, in der Produktion und im Service von Fahrzeugen. So ermöglicht die zunehmende Realisierung von Fahrzeugfunktionen durch Software neue Freiheitsgrade beim Entwurf und die Auflösung bestehender Zielkonflikte.

Zur Beherrschung der dadurch entstehenden Komplexität sind Prozesse, Methoden und Werkzeuge notwendig, die die fahrzeugspezifischen Randbedingungen berücksichtigen. Grundlegende charakteristische Anforderungen an Software im Automobil sind der Entwurf für eingebettete und verteilte Echtzeitsysteme bei hohen Sicherheits- und Verfügbarkeitsanforderungen sowie großer Kostendruck und vergleichsweise lange Produktlebenszyklen. Diese Anforderungen stehen bei diesem Buch im Vordergrund. Zur Entwicklung von Software für elektronische Systeme von Fahrzeugen wurde in den letzten 15 Jahren eine Reihe von Vorgehensweisen und Standards wie AUTOSAR und ISO 26262 entwickelt, die wohl am besten unter dem Begriff „Automotive Software Engineering“ zusammengefasst werden können.

Damit ist eine komplexe Begriffswelt entstanden, mit der wir ständig konfrontiert werden. Es wird immer schwieriger, genau zu verstehen, was sich hinter den Vokabeln verbirgt. Erschwerend kommt hinzu, dass manche Begriffe mehrfach in unterschiedlichem Zusammenhang verwendet werden. So etwa der Begriff Prozess, der im Zusammenhang mit der Regelungstechnik, aber auch mit Echtzeitsystemen oder generell mit Vorgehensweisen in der Entwicklung benutzt wird. Nach einem Überblick zu Beginn werden deshalb in diesem Buch die wichtigsten Begriffe definiert und durchgängig so verwendet. In den folgenden

Kapiteln stehen Prozesse, Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung von Software für die elektronischen Systeme des Fahrzeugs im Mittelpunkt. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die Wechselwirkungen zwischen der Software-Entwicklung als Fachdisziplin und der übergreifenden Systementwicklung, die alle Fahrzeugkomponenten berücksichtigen muss. Die dargestellten Prozesse haben Modellcharakter. Das bedeutet, die Prozesse sind ein abstraktes, idealisiertes Bild der täglichen Praxis. Sie können für verschiedene Entwicklungsprojekte als Orientierung dienen, müssen aber vor der Einführung in einem konkreten Projekt bewertet und eventuell angepasst werden. Auf eine klare und verständliche Darstellung haben wir deshalb großen Wert gelegt.

Wegen der Breite des Aufgabengebietes können nicht alle Themen in der Tiefe behandelt werden. Wir beschränken uns aus diesem Grund auf Gebiete mit automobilspezifischem Charakter.

Beispiele aus der Praxis

Ein Prozess ist nur dann ein erfolgreiches Instrument für ein Entwicklungsteam, wenn die Vorteile der nachvollziehbaren Bearbeitung umfangreicher Aufgabenstellungen in der Praxis anerkannt werden. Dieses Buch soll daher kein theoretisches Lehrbuch sein, das sich jenseits der Praxis bewegt. Alle Anregungen basieren auf praktischen Anwendungsfällen, die wir anhand von Beispielen anschaulich darstellen. Die Vielzahl von Erfahrungen, die wir in enger Zusammenarbeit mit Fahrzeugherstellern und Zulieferern sammeln konnten, wurde dabei berücksichtigt. Dazu gehören Serienentwicklungen mit den dazugehörigen Produktions- und Serviceaspekten genauso wie Forschungs- und Vorentwicklungsprojekte.

Leserkreis

Wir wollen mit dem vorliegenden Buch alle Mitarbeiter bei Fahrzeugherstellern und Zulieferern ansprechen, die in der Entwicklung, in der Produktion und im Service mit Software im Fahrzeug konfrontiert sind. Wir hoffen nützliche Anregungen weitergeben zu können.

Dieses Buch soll auch eine Basis zur Ausbildung von Studierenden und zur Einarbeitung von neuen Mitarbeitern zur Verfügung stellen. Grundkenntnisse in der Steuerungs- und Regelungstechnik, in der Systemtheorie und in der Software-Technik sind von Vorteil, aber nicht Voraussetzung.

Sicherlich wird an einigen Stellen der Wunsch nach einer detaillierteren Darstellung aufkommen. Wir freuen uns deshalb zu allen behandelten Themen über Hinweise und Verbesserungsvorschläge. Zahlreiche konstruktive Rückmeldungen der Leser zur 5. Auflage wurden bei der 6. Auflage des Buches berücksichtigt.

Danksagungen

An dieser Stelle möchten wir uns besonders bei allen unseren Kunden aus der Automobilindustrie für die jahrelange, vertrauensvolle Zusammenarbeit bedanken. Ohne diesen Erfahrungsaustausch wäre dieses Buch nicht möglich gewesen.

Des Weiteren bedanken wir uns bei der BMW Group für die freundliche Zustimmung, dass wir in diesem Buch Erfahrungen darstellen dürfen, die wir in BMW Projekten – im Falle des erstgenannten Autors auch als BMW Mitarbeiter – gesammelt haben. Dies schließt auch Empfehlungen für Serienprojekte bei BMW ein. Wir bedanken uns besonders bei Herrn Heinz Merkle, Herrn Dr. Helmut Hochschwarzer, Herrn Dr. Maximilian Fuchs, Herrn Prof. Dr. Dieter Nazareth sowie allen ihren Mitarbeitern.

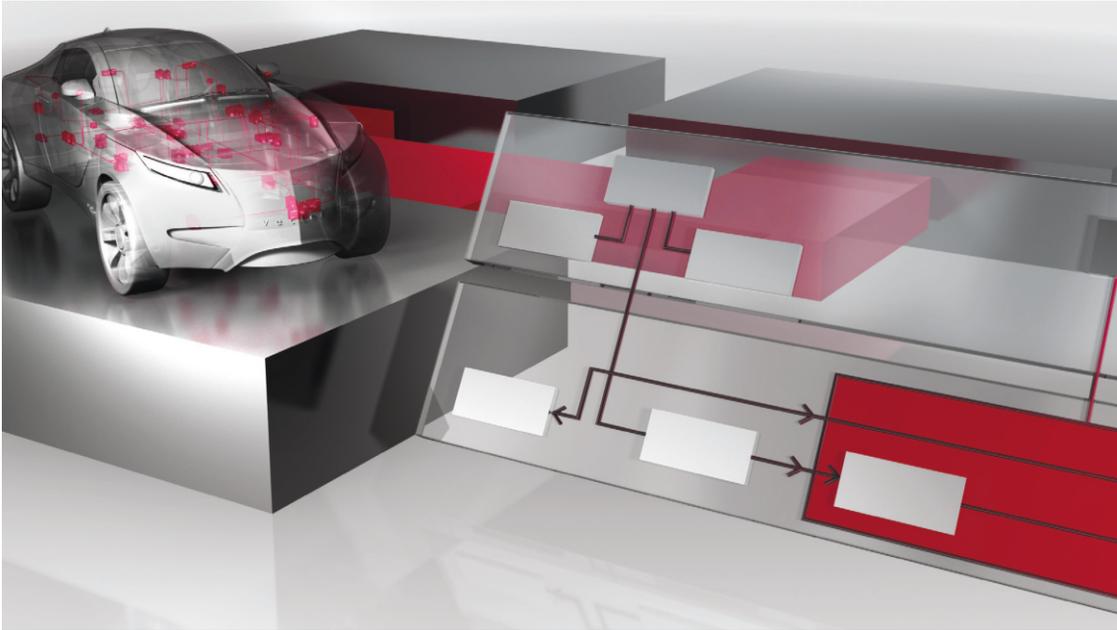
Viele Vorgehensweisen und Methoden entstanden während der jahrelangen, engen und vertrauensvollen Zusammenarbeit mit der Robert Bosch GmbH. Die dabei entwickelten und inzwischen breit eingesetzten Vorgehensweisen finden sich in diesem Buch an vielen Stellen wieder. Wir sagen dafür den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Bereiche Chassis Systems, Diesel Systems, Gasoline Systems, sowie der Forschung und Vorausbildung der Robert Bosch GmbH vielen Dank.

Wir bedanken uns außerdem herzlich bei Herrn Dr. Siegfried Dais, Herrn Dr. Klaus Grimm, Herrn Dr. Wolfgang Runge, Herrn Prof. Dr. Manfred Broy, Herrn Prof. Dr. Hans-Christian Reuss und Herrn Prof. Dr. Peter Göhner für ihre einleitenden Geleitworte.

Für die sorgfältige und kritische Durchsicht des Manuskripts bedanken wir uns insbesondere bei Mirko Ciecinski, Dr. Daniel Kanth, Roland Jeutter, Dr. Michael Nicolaou, Dr. Oliver Schlüter, Dr. Kai Werther, Hans-Jörg Wolff und Wolfgang Haug. Unser Dank gilt nicht zuletzt dem Springer Vieweg Verlag und Frau Elisabeth Lange für die wiederum sehr gute Zusammenarbeit bei der Vorbereitung der 6. Auflage.

Stuttgart, Juli 2016

Jörg Schäuuffele, Dr. Thomas Zurawka



PREEvision Die E/E-Engineering-Lösung

Modellbasiert vom Architekturentwurf bis zur Serienreife

PREEvision unterstützt Systemarchitekten, Funktions- und Softwareentwickler, Kommunikationsexperten, Leitungssatz- und Testingenieure bei der ganzheitlichen und durchgängigen Entwicklung von E/E-Systemen. Dabei profitiert der Anwender von grafischen Diagrammen sowie vielfältigen Funktionen und Vorteilen:

- > Architekturentwurf, Bewertung und Dokumentation
- > Anforderungsmanagement und Funktionsentwicklung
- > Software-, System- und Kommunikationsentwurf nach AUTOSAR-Methodik
- > Leitungssatz-Entwicklung inkl. Versorgungs-, Absicherungs- und Massekonzepten
- > Entwurf von sicherheitsrelevanten Systemen nach ISO 26262
- > Testdatenmanagement
- > Integriertes Versions- und Variantenmanagement
- > Standortübergreifender Einsatz und paralleles Arbeiten im Mehrbenutzerbetrieb

Überzeugen Sie sich:

www.vector.com/PREEvision

PREEvision. Modellbasierte E/E-Entwicklung – vom Architekturentwurf bis zur Serienreife.

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Antiblockiersystem
ACC	Adaptive cruise control
AFS	Active front steering
API	Application programming interface
ALU	Arithmetic and logic unit
CAL-RAM	Calibration RAM
CAN	Controller area network
CCP	CAN calibration protocol
CMMI [®]	Capability Maturity Model Integration [®]
CPU	Central processing unit
CSMA	Carrier sense multiple access
CSMA/CA	CSMA/collision avoidance
CSMA/CD	CSMA/collision detection
D/A	Digital-analog conversion
DMA	Direct-memory I/O access
DRAM	Dynamic RAM
DTC	Diagnostic trouble code
ECU	Electronic control unit
EEPROM	Electrical EPROM
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EPROM	Erasable PROM
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
FIFO	First in, first out
FMEA	Failure mode and effects analysis
FO	Fail-operational (system)
FR	Fail-reduced (system)
FS	Fail-safe (system)
FTA	Fault-tree analysis
HAL	Hardware abstraction layer
HiL	Hardware-in-the-loop (simulation)
I/O	Input/output

LOV	Line of visibility (diagrams)
MIL	Malfunction indicator light
MMI	Man/machine interface
MTTF	Mean time to failure
MTTR	Mean time to repair
NV-RAM	Nonvolatile RAM
OBD	Onboard diagnostics
OS	Operating system
PI	Proportional-plus-integral (Regler)
PPM	Parts per million
PROM	Programmable ROM
RAM	Random access memory
ROM	Read-only memory
RTE	Runtime Environment
SBC	Sensotronic Brake Control
SiL	Software-in-the-loop (simulation)
SPICE	Software Process Improvement and Capability Determination
SRAM	Static RAM
TCS	Traction control system
TDMA	Time division multiple access
TTF	Time to failure
UML™	Unified Modeling Language™
UV	Ultraviolet
VDA	Verband der Automobilindustrie
WCET	Worst-case execution time
WCRT	Worst-case response time
XCP	Extended calibration protocol

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Überblick	1
1.1	Das System Fahrer-Fahrzeug-Umwelt	2
1.1.1	Aufbau und Wirkungsweise elektronischer Systeme	3
1.1.2	Elektronische Systeme des Fahrzeugs und der Umwelt	5
1.2	Überblick über die elektronischen Systeme des Fahrzeugs	6
1.2.1	Elektronische Systeme des Antriebsstrangs	8
1.2.2	Elektronische Systeme des Fahrwerks	10
1.2.3	Elektronische Systeme der Karosserie	12
1.2.4	Multi-Media-Systeme	14
1.2.5	Fahrerassistenzsysteme	15
1.2.6	Zusammenfassung und Ausblick	18
1.3	Überblick über die logische Systemarchitektur	19
1.3.1	Funktions- und Steuergerätenetzwerk des Fahrzeugs	19
1.3.2	Logische Systemarchitektur für Steuerungs-/Regelungs- und Überwachungssysteme	20
1.4	Prozesse in der Fahrzeugentwicklung	21
1.4.1	Überblick über die Fahrzeugentwicklung	21
1.4.2	Überblick über die Entwicklung von elektronischen Systemen	22
1.4.3	Kernprozess zur Entwicklung von elektronischen Systemen und Software	25
1.4.4	Unterstützungsprozesse zur Entwicklung von elektronischen Systemen und Software	27
1.4.5	Produktion und Service von elektronischen Systemen und Software	30
1.5	Methoden und Werkzeuge in der Fahrzeugentwicklung	30
1.5.1	Modellbasierte Entwicklung	31
1.5.2	Integrierte Qualitätssicherung	32
1.5.3	Reduzierung des Entwicklungsrisikos	34
1.5.4	Standardisierung und Automatisierung	35
1.5.5	Entwicklungsschritte im Fahrzeug	38