Ulrich Seiffert | Gotthard Rainer (Hrsg.)

Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz

Ulrich Seiffert | Gotthard Rainer (Hrsg.)

Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz

Prozesse, Komponenten, Beispiele aus der Praxis

Mit 359 Abbildungen

PRAXIS | ATZ/MTZ-Fachbuch

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.

1. Auflage 2008

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008

Lektorat: Thomas Zipsner | Elisabeth Lange

Der Vieweg+Teubner Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.
www.viewegteubner.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, 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.

Technische Redaktion: Klementz publishing services, Gundelfingen
Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg
Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin
Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.
Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-0345-0

Vorwort

Die Fahrzeugentwicklung steht nach wie vor unter steigenden Anforderungen sowohl von Seiten des Marktes als auch bedingt durch Auflagen des Gesetzgebers. Hohe Fahrzeugsicherheit und Qualitätsansprüche, geringst mögliche Abgaswerte, niedriges Außengeräusch, geringer Verbrauch und damit verbunden geringe CO₂-Emissionen, akzeptable Fahrleistungen, erweiterte Variantenzahl pro Hersteller, Integration in Verkehrssysteme und internationaler Wettbewerb sind nur einige Stichwörter. Neben den Produkten sind es die Prozesse, die die Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit ganz entscheidend beeinflussen. In den hier zusammengestellten Beiträgen zur virtuellen Produktentstehung, die im Wesentlichen auf Präsentationen der ATZ/MTZ-Konferenzen zur VVC (Virtual Vehicle Creation) und VPC (Virtual Powertrain Creation) aufbauen, wird für das Gesamtfahrzeug aber auch für sämtliche Hauptgruppen wie Antrieb, Aufbau Fahrwerk und Elektronik durch die entsprechenden fachlichen Stellungnahmen diese veränderte Welt beschrieben. Obwohl es immer noch der physikalischen Tests auf der Basis von Hardwarekomponenten und Prototypen bedarf, trägt der veränderte Prozess nicht nur zur Erhöhung der Entwicklungsqualität sondern auch zur Verringerung der Entwicklungszeit bei. Das vorliegende Fachbuch zeigt ganzheitlich die Lösungen anhand von Praxisbeispielen auf.

Dieses Fachbuch richtet sich vor allem an in Praxis und Wissenschaft tätige Fachleute der Kfz-, Zulieferer- und Elektronikindustrie sowie an Hard- und Softwarehersteller. Auch Professoren und Studenten der Kfz-Technik bietet es einen hilfreichen Begleiter und zuverlässigen Ratgeber.

Unser besonderer Dank gilt allen unseren Autoren für ihren großen Einsatz bei der Realisierung dieses Fachbuches. Dabei sind vor allem die ausgeprägte Fachkompetenz und die verständliche Darstellung der Lösungen hervorzuheben.

Dem Vieweg Verlag, insbesondere dem Lektor Herrn Thomas Zipsner, danken wir für die jederzeit kollegiale und vorausschauende Mitarbeit.

Braunschweig, Graz im März 2008

*Ulrich Seiffert
Gotthard Rainer*

Autorenverzeichnis

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers [5.1]	Institut für Produktentwicklung, Universität Karlsruhe www.ipek.uni-karlsruhe.de
Dr. Klaus U. Baron [2.3]	Delphi Deutschland GmbH, Wuppertal www.delphi.com
Dr. rer. nat. Jost Bernasch [6.2]	Kompetenzzentrum – Das Virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH, A-Graz www.virtuellesfahrzeug.at
Dr.-Ing. Ernst Beutner [1.2]	IAV GmbH, Chemnitz www.iav.de
Dr.-Ing. Thomas Binder [1.1]	Audi AG, Ingolstadt www.audi.de
Dipl.-Ing. Thomas Bock [1.1]	Audi AG, Ingolstadt www.audi.de
Dr. Bernd Bohr [2.1]	Robert Bosch GmbH, Stuttgart www.bosch.de
Dr.-Ing. Stefan Bunzel [2.2]	Continental, Frankfurt a.M., www.continental-corporation.com
Dr. Dipl.-Ing. Klaus Denkmayr [3.4]	AVL List GmbH, A-Graz www.avl.com
Dipl.-Ing. Arnulf Deschler [4]	ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen www.zf.com
Dipl.-Ing. Michael Dick [1.1]	Audi AG, Ingolstadt www.audi.de
Dr. Raimund Ellinger [3.1]	AVL List GmbH, A-Graz www.avl.com
Dipl.-Ing. Andreas Ennemoser [5.3]	AVL List GmbH, A-Graz www.avl.com
Dipl.-Ing. Helmut Fennel [2.2]	Continental, Frankfurt a. M., www.continental-corporation.com
Dr. Robert Fischer [3.1]	AVL List GmbH, A-Graz www.avl.com
Ronald Gneiting [6.1]	Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart www.behrgroup.com

Dipl.-Ing. Michael Günther [3.6]	IAV GmbH, Chemnitz www.iav.de
Dr.-Ing. Thomas Heckenberger [6.1]	Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart www.behrgroup.com
M. Sc. Borislav Klarin [5.4]	AVL-AST d.o.o., Zagreb, Croatia www.avl.com
Dr.-Ing. Peter A. Klumpp [3.2]	Audi AG, Ingolstadt www.audi.com
Dipl.-Ing. Thomas Kriegel, MBA [1.1]	Audi AG, Ingolstadt www.audi.de
Dipl.-Ing. Markus Kühl [5.1]	aquintos GmbH, Karlsruhe www.aquintos.com
Dr.-Ing. Gerhard Maas [1.2]	IAV GmbH, Chemnitz www.iav.de
Dr.-Ing. Franz Maaßen [3.3]	FEV Motorentechnik GmbH, Aachen www.fev.com
Hinrich Meinheit [5.2]	Institut für Kraftfahrwesen, RWTH Aachen www.ika.rwth-aachen.de
Dipl.-Ing. Thomas Müller [1.1]	Audi AG, Ingolstadt www.audi.de
Prof. Dr.-Ing. Klaus Müller-Glaser [5.1]	Institut für Technik der Informations- verarbeitung, Universität Karlsruhe www.itiv.uni-karlsruhe.de
Dr. Peter Nefischer [5.3]	BMW Motoren GmbH, A-Steyr www.bmw-werk-steyr.at
Prof. Dr.-Ing. Horst Oehlschlaeger [1.3]	Volkswagen Nutzfahrzeuge, Wolfsburg www.vwn.de
Dipl.-Ing. Sascha Ott [5.1]	Institut für Produktentwicklung, Universität Karlsruhe www.ipek.uni-karlsruhe.de
Dr. Heinz Petutschnig [5.3]	AVL List GmbH, A-Graz www.avl.com
Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger [3.3]	FEV Motorentechnik GmbH, Aachen www.fev.com
Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Puntigam [6.2]	Kompetenzzentrum – Das Virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH, A-Graz www.virtuellesfahrzeug.at
Dr. Gotthard Rainer [Hrsg.]	AVL List GmbH, A-Graz www.avl.com

Dr.-Ing. Martin Rebbert [3.5]	FEV Motorentechnik GmbH, Aachen www.fev.com
Dipl.-Ing. Thomas Resch [5.4]	AVL List GmbH, A-Graz www.avl.com
Dr. Johannes-Jörg Rüger [2.1]	Robert Bosch GmbH, Stuttgart www.bosch.de
Dr. Christof Samhaber [5.3]	BMW Motoren GmbH, A-Steyr www.bmw-werk-steyr.at
Dipl.-Ing. Thomas Schaffner [5.4]	CD Labor für Motor- und Fahrzeugakustik, A-Graz
Dr.-Ing. Christian Schyr [5.1]	AVL List GmbH, A-Graz www.avl.com
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert [Hrsg.]	WiTech Engineering GmbH, Braunschweig www.witech-engineering.de
Dipl.-Ing. Martin Sopouch [5.4]	AVL List GmbH, A-Graz www.avl.com
Dr.-Ing. Karin Spors [1.4]	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de
Dr.-Ing. Ulrich Uphoff [1.5]	BMW Group München www.bmwgroup.com
Dipl.-Ing. Christian Vock [5.4]	AVL List GmbH, A-Graz www.avl.com
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Henning Wallentowitz [5.2]	Institut für Kraftfahrwesen, RWTH Aachen www.ika.rwth-aachen.de
Dr.-Ing. Thomas Wetzel [6.1]	Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart www.behrgroup.com
Dr.-Ing. Steffen Zwahr [3.6]	Westsächsische Hochschule, Zwickau www.fh-zwickau.de

Inhaltsverzeichnis

1 Gesamtfahrzeug	1
1.1 Einsatz virtueller Techniken in der Produktentwicklung	1
1.1.1 Einflüsse auf die Automobilindustrie	1
1.1.1.1 Globale Trends	1
1.1.1.2 Anforderungen aus geänderten Kundenerwartungen	4
1.1.1.3 Neue Wege gehen	6
1.1.2 Der Produktprozess und die Rolle der virtuellen Entwicklung	7
1.1.2.1 Paradigmenwechsel im Produktprozess	7
1.1.2.2 Synchronisation des Entwicklungsprozesses	8
1.1.2.3 Datenlogistik	9
1.1.2.4 Simulation als Prozessintegrator	12
1.1.3 Die Verwendung der virtuellen Techniken zur Komponenten- und Eigenschaftsentwicklung	15
1.1.3.1 Eigenschaftsableitung	15
1.1.3.2 Eigenschaftsverfolgung (-Monitoring)	17
1.1.3.3 Interdisziplinäre Prozessketten im Entwicklungsprozess	18
1.1.3.4 Neue Herausforderungen in der Simulation durch Regelsysteme	20
1.1.3.4.1 Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen	21
1.1.3.4.2 Vehicle in the Loop (VIL)	22
1.1.4 Zusammenfassung und Ausblick	27
1.1.4.1 Geänderter Produktprozess	27
1.1.4.2 Grenzen der virtuellen Entwicklung	28
1.1.4.3 Ausblick	29
1.2 Auslegungstools und Expertenwissen	29
1.2.1 Einleitung	29
1.2.2 Der „Integrierte Entwicklungsablauf“	31
1.2.3 Mit Auslegungstools zur simulationsgestützten Entwicklung in frühen Entwicklungsphasen	35
1.2.4 Verstärkte Nutzung von Wissen im Engineeringprozess	42
1.2.4.1 Wissen – auf dem Weg zur Ressource	42
1.2.4.2 Lösungsansätze für wissensbasiertes Engineering	44
1.2.4.3 Wissensdatenbanken	46
1.2.5 Anwendung von Wissensdatenbanken	50
1.2.5.1 Information	50
1.2.5.2 Technisches Benchmarking	50
1.2.5.3 Bereitstellung Expertenwissen	53
1.2.5.4 Bauteilauslegung	54
1.2.6 Zusammenfassung und Ausblick	56
1.3 Virtuelle Produktentwicklung in der Konzeptphase von Nutzfahrzeugen	58
1.3.1 Konzeptentwicklung, Frontloading	59

1.3.2	Beispiele für Simulationswerkzeuge in der Konzeptphase	60
1.3.2.1	Concept Car (Parametrisches Konzeptmodell)	60
1.3.2.2	Digital Mock-Up (DMU)	62
1.3.2.3	Virtuelle Sitzkiste	63
1.3.2.4	Augmented Reality	64
1.3.2.5	Parametrische Berechnungsverfahren	65
1.3.2.6	Modularer Berechnungsmodell-Aufbau	67
1.3.2.7	Strömungsberechnung (CFD)	68
1.3.2.8	Mehrkörpersimulation (MKS)	71
1.3.2.9	Blattfedergeführte Starrachse	72
1.3.3	Virtuelle Produktentwicklung in der Zukunft	73
1.4	Beschleunigung des Produktprozesses	75
1.4.1	Einleitung	75
1.4.2	Die drei Beschleunigungskomponenten	77
1.4.3	Ausgewählte Beispiele	83
1.4.4	Zusammenfassung und Ausblick	87
1.5	Virtueller verteilter Entwicklungsprozess bei Abgasanlagen und -konzepten	88
1.5.1	Einleitung	88
1.5.2	CAE-Methoden im Entwicklungsprozess Abgasanlage	88
1.5.3	Numerischer Werkzeugkasten für Abgasanlagenberechnungen	91
1.5.3.1	Vernetzungsrichtlinie für Abgasanlagenmodelle	93
1.5.3.2	Nummerierungskonvention für Abgasanlagenmodelle	94
1.5.3.3	Eine hierarchisch angelegte Struktur für Abgasanlagenberechnungen	94
1.5.3.4	Automatisierungsalgorithmus	95
1.5.3.5	Verschiedene kleinere Programme zur Erledigung von Teilaufgaben	95
1.5.4	Beispiele	95
1.5.5	Einführung einer gemeinsamen Methodik bei den Partnern	97
1.5.6	Zusammenfassung	98
2	Elektronik	99
2.1	Elektronik als Schlüsseltechnologie zur unfallfreien und umweltfreundlichen Mobilität der Zukunft	99
2.1.1	Globale Herausforderungen	99
2.1.2	Elektronik und Systemvernetzung	101
2.1.3	Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei Elektronik-Systemen	111
2.1.4	Zusammenfassung	113
2.2	AUTOSAR – Der Standard, seine Anwendung und die weitere Entwicklung	114
2.2.1	Einleitung	114
2.2.2	AUTOSAR-Projektorganisation	115
2.2.3	Technisches Konzept von AUTOSAR	116
2.2.3.1	Schichtenmodell der Softwarearchitektur	116
2.2.3.2	Virtueller Funktionaler Bus	118
2.2.3.3	Metamodell und Methodik	120

2.2.3.4	Konfigurationskonzept	122
2.2.3.5	Fehlerbehandlung	124
2.2.3.6	Anwendungssoftware	125
2.2.4	Status der AUTOSAR-Spezifikationen	125
2.2.4.1	AUTOSAR Release 1.0	125
2.2.4.2	AUTOSAR Release 2.0	126
2.2.4.3	AUTOSAR Release 2.1	127
2.2.5	AUTOSAR Konformitätsprüfung	127
2.2.5.1	Zielsetzung	127
2.2.5.2	Prozess der Konformitätsprüfung	128
2.2.6	AUTOSAR Phase II: 2007 – 2009	129
2.2.6.1	Inhalte der AUTOSAR Phase II	129
2.2.6.2	Start von AUTOSAR Phase II	131
2.2.7	Schlussfolgerung und Ausblick	131
2.3	Virtuelle Systementwicklung – Von der Anforderung zum Steuergerät	133
2.3.1	Einleitung	133
2.3.2	Anforderungsverursachte Komplexitätszunahme im E/E-Entwurfsprozess	135
2.3.3	Konventionelle Architektur- und Steuergeräteentwicklung	138
2.3.4	Integraler Toolverbund zur virtuellen E/E-Entwicklung	140
2.3.4.1	eSCOUT	142
2.3.4.2	CAPEmaster/CAPEopticon	145
2.3.4.3	Virtuelle Hardware	148
2.3.4.4	HW/SW Co-Simulation	149
2.3.5	Schlussbetrachtung	151
3	Motor	154
3.1	Virtuelle Antriebsstrangentwicklung	154
3.1.1	Einleitung	154
3.1.2	Entwicklungsprozess der Antriebsstrangentwicklung	155
3.1.3	Kalibrierung im Fahrzeug, auf der Straße	156
3.1.4	Kalibrierung im Fahrzeug, auf dem Rollenprüfstand	160
3.1.5	Kalibrierung auf Motor-, Getriebe- und Antriebsstrangprüfständen	164
3.1.6	Kalibrierung in der Hardware-in-the-Loop (HiL) und Model-in-the-Loop (MiL) Umgebung	166
3.1.7	Zusammenfassung und Ausblick	170
3.2	Steuertriebsentwicklung mit Simulation und Versuch	172
3.2.1	Einleitung	172
3.2.2	Entwicklungstools: Simulations- und Messtechniken	172
3.2.3	Zähnezahlen	175
3.2.4	Kettenart	177
3.2.5	Dynamikergebnisse	180
3.2.6	Unrunde Kettenräder	181
3.2.7	Aufbau und Ausbau der Simulationstechnik	184
3.2.8	Zusammenfassung	188

3.3	Virtuelle Motorenentwicklung	189
3.3.1	Einleitung	189
3.3.2	Entwicklungsplan	189
3.3.3	CAE-Unterstützung und virtuelle Produktfreigabe	191
3.3.4	Festigkeit und Kühlung	193
3.3.5	Ladungswechsel und Thermodynamik	194
3.3.6	Kosten und Gewicht	195
3.3.7	NVH und Gewicht	196
3.3.8	Dokumentation und Projektmanagement	299
3.3.9	Motormanagement, Software und Applikation	299
3.3.10	Zusammenfassung	200
3.3.11	Fazit	201
3.4	Zuverlässigkeitsmethoden in der Motorentwicklung	202
3.4.1	Einleitung	202
3.4.2	Der Zuverlässigkeitsprozess	202
3.4.2.1	Statistische Analysen	204
3.4.2.2	Projekt-Risikomanagement	204
3.4.2.3	FMEA – Fehler-Möglichkeiten- und Einflussanalyse	205
3.4.2.4	Concern-System	205
3.4.2.5	Design of Experiments (DoE) und Robustheit	206
3.4.2.6	Zuverlässigkeitsblockdiagramme (Reliability Allocation)	206
3.4.2.7	Intelligente Validierung – Die Load Matrix Methodik	206
3.4.2.7.1	Prozess der Load Matrix Erstellung	207
3.4.2.7.2	Maßnahmen zur Verbesserung der Validierung	208
3.4.2.7.3	Nutzen der Load Matrix	208
3.4.2.8	Reliability Charts	209
3.4.2.9	Garantiekostenprognose	211
3.4.3	Zusammenfassung	212
3.5	3D-Simulation der Kolbengruppe	213
3.5.1	Einleitung	213
3.5.2	Simulation der Kolbengruppe in Bausteinen	214
3.5.2.1	Thermische Strukturanalyse des Kolbens	214
3.5.2.2	Simulation der Kolbensekundärbewegung	216
3.5.2.3	Simulation der Kolbenringdynamik	220
3.5.3	Anwendungsbeispiel: Reibungsanalyse	223
3.5.4	Zusammenfassung	225
3.6	Einsatz der Prozess- und Ladungswechselsimulation zur Bedatung von Motorsteuergeräten	227
3.6.1	Einleitung	227
3.6.2	Motivation	227
3.6.3	Grundlagen zur Einbeziehung der Vorausberechnung in den Applikationsprozess	228
3.6.4	Werkzeuge zur effektiven Grundbedatung mit Vorausberechnung	230
3.6.5	Anwendung für Füllungserfassung, Momentenstruktur und Zündwinkelvorgabe	232

3.6.6	Weitere Einsatzmöglichkeiten der Simulation im Applikationsprozess	245
3.6.7	Fazit	247
4	Getriebe	249
4.1	Optimierungsverfahren in der Antriebstechnik	249
4.1.1	Einleitung.....	249
4.1.2	Gliederung der Optimierungsverfahren	250
4.1.3	Topologieoptimierung: Begriffsklärung und Analogie	252
4.1.4	Prinzipielle Vorgehensweise bei einer Topologieoptimierung	253
4.1.5	Grundlegende Erfahrungen bei der Topologieoptimierung eines Differenzialdeckels	254
4.1.6	Topografieoptimierung einer Ölwanne.....	267
4.1.7	Topologieoptimierung eines Getriebegehäuses	272
4.1.8	Optimierung eines Halteblechs	279
4.1.9	Einbindung in den Produktentwicklungsprozess	284
5	Antriebsstrang/Hybrid	286
5.1	Modellbasierte Antriebsstrangentwicklung	286
5.1.1	Einleitung	286
5.1.2	Werkzeuge im modellbasierten Entwicklungsprozess	288
5.1.2.1	Systemmodell	288
5.1.2.2	Regelbasierte Modelltransformation	290
5.1.2.3	Physikalische und signalfussorientierte Modelle	291
5.1.2.4	Optimierungswerkzeuge	294
5.1.2.5	Modellbasierte Validierung	294
5.1.3	Zusammenfassung	296
5.2	Hybridfahrzeug in seiner Verkehrsumgebung	298
5.2.1	Einleitung	298
5.2.2	Simulationsumgebung	298
5.2.2.1	Längsdynamiksimulation	299
5.2.3.2	Verkehrsszenarien	303
5.2.3	Simulationsergebnisse	305
5.2.3.1	Hybridantrieb	305
5.2.4	Zusammenfassung	309
5.3	Einfluss des Strömungssiedens auf den kühlmittelseitigen Wärmeübergang in Verbrennungsmotoren	310
5.3.1	Einleitung	310
5.3.2	Sieden	311
5.3.2.1	Beschreibung des Siede-Phänomens	311
5.3.2.2	Einflüsse	312
5.3.2.2.1	Kühlmittelzusammensetzung	313
5.3.2.2.2	Rauigkeit	314
5.3.2.2.3	Orientierung	314
5.3.2.2.4	Druckgradient	315
5.3.2.2.5	Vibration	315

5.3.3	Modellbildung und Berechnungsmethodik	316
5.3.3.1	Boiling-Departure-Liftoff (BDL)-Modell	316
5.3.3.2	Gekoppelte Berechnungsmethodik	318
5.3.4	Anwendungsbeispiel	320
5.3.5	Zusammenfassung	322
5.4	Simulation des NVH-Verhaltens im Antriebsstrang	323
5.4.1	Einleitung	323
5.4.2	Modellkomplexität	324
5.4.3	Softwareprogramme und Modellierungsansätze	327
5.4.4	Untersuchung an einem Front-Querantriebsstrang	332
5.4.4.1	1D-Torsionsansatz	333
5.4.4.2	3D-MKS (Starrkörper)	334
5.4.4.3	3D-MKS (flexible Körper)	338
5.4.5	Zusammenfassung	343
6	Nebenaggregate	345
6.1	Simulation in der Produktentwicklung	345
6.1.1	Einführung	345
6.1.2	Dynamikanalyse von Kühlmodulen	345
6.1.3	Temperaturwechselbeanspruchung von Ladeluftkühlern	347
6.1.4	Motorraumdurchströmung	348
6.1.5	Auslegung von Hybridquerträgern für Thermostrukturmodule [©]	350
6.1.6	Komfortbewertung mit dem virtuellen thermischen Dummy	352
6.1.7	Dynamische Berechnung der Ladeluftkühlung mit BISS	354
6.1.8	Füllungsoptimierung eines R744 Kältekreislaufs	355
6.2	Integrierte Virtuelle Gesamtfahrzeugsimulation ausgeführt am Beispiel des Thermischen Managements	358
6.2.1	Einleitung	358
6.2.2	Motivation und Problemstellung	359
6.2.3	Technologien, Methoden und Werkzeuge für Integriertes Engineering	360
6.2.4	Rolle der Co-Simulation für das Thermische Management	364
6.2.5	Design einer unabhängigen Co-Simulationsplattform-Erstellung eines Gesamtfahrzeugmodells am Beispiel des Thermischen Managements	366
6.2.5.1	Aufteilung des Gesamtsystems in Teilmodelle	367
6.2.5.2	Kopplung der Teilmodelle zu einem Gesamtmodell	367
6.2.5.3	Synchronisierung der Teilmodelle innerhalb des Gesamtmodells	369
6.2.6	Betrachtung der Energieströme innerhalb eines gekoppelten thermischen Gesamtfahrzeugmodells	372
6.2.7	Zusammenfassung und Ausblick	376
	Ausblick	380
	Sachwortverzeichnis	381

Abkürzungen und Akronyme

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
ADC	Analogue Digital Converter
AGR	Abgasrückführung
AR	Augmented Reality
AUTOSAR	AUTomotive Open System ARchitecture
BDL	Boiling Departure Liftoff
BISS	Behr integrierte Systemsimulation
BSA	Betriebsschwingungsanalyse
BSW	Basic Software
CAD	Computergestützte Konstruktion (Computer Aided Design)
CAE	Computergestütztes Engineering (Computer Aided Engineering)
CAX	Sammelbegriff für computergestützte Arbeitstechniken
CD	Compact Disc
CFD	Numerische 3D-Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics)
CPU	Central Processing Unit
CTA	Conformance Test Agency
CTS	Conformance Test Suite
CVT	Continuously Variable Transmission
DEM	Diagnostics Event Manager
DET	Development Error Tracer
DMU	Digitales Zusammenbau-Modell (Digital Mock-Up)
DoE	Design of Experiments (statistische Versuchsplanung)
DV-Technik	Datenverarbeitungstechniken
E/E	Electric/Electronics
ECU	Electronic Control Unit
ERP	Computergestützte Planung der Unternehmensressourcen (Enterprise Resource Planning)
FE	Finite Elemente
FEM	Finite-Elemente-Methode
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
GIF	Graphic interchange Format – Komprimierendes Bilddateiformat
GJL	Gusseisen mit Lamellengraphit
GJV	Gusseisen mit Vermikulargraphit
HMD	Head-Mounted-Display
HMI	Human Machine Interface
HW	Hardware
I/O	Input/Output
IT	Informations-Technologie
KW	Kurbelwelle

MARCO	Thermischer Dummy
MKS	Mehrkörpersimulation
MTBF	Mean Time Between Failures
NVH	Noise, Vibration and Harshness
PDM	Produkt-Daten-Management
PVS	Produktionsvorserie
RA	Risk Assessment
RFID	Radio Frequency Identification
RTE	Runtime Environment
SFE	Gesellschaft für Strukturanalyse in Forschung und Entwicklung mbH
SIMBAUK	Simulations-Baukasten
SOP	Start der Serienfertigung (Start of Production)
SW-C	Software Component
TSM	Thermostrukturmodul©
UML	Unified Modeling Language
VB-Prozess	Versuchsbauprozess, dient der Erstellung von Prototypen
VFB	Virtual Functional Bus
ViP	Virtuelle Produktentwicklung
VR	Virtual Reality
VREP	virtueller Ergonomieprüfstand
XML	eXtensible Mark up Language
ZKG	Zylinder-Kurbel-Gehäuse