

Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik
Universität Stuttgart

RESEARCH

Matthias Zimmer

Durchgängiger
Simulationsprozess
zur Effizienzsteigerung
und Reifegraderhöhung
von Konzeptbewertungen
in der Frühen Phase
der Produktentstehung



Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart

Herausgegeben von

M. Bargende, Stuttgart, Deutschland

H.-C. Reuss, Stuttgart, Deutschland

J. Wiedemann, Stuttgart, Deutschland

Das Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK) an der Universität Stuttgart erforscht, entwickelt, appliziert und erprobt, in enger Zusammenarbeit mit der Industrie, Elemente bzw. Technologien aus dem Bereich moderner Fahrzeugkonzepte. Das Institut gliedert sich in die drei Bereiche Kraftfahrwesen, Fahrzeugantriebe und Kraftfahrzeug-Mechatronik. Aufgabe dieser Bereiche ist die Ausarbeitung des Themengebietes im Prüfstandsbetrieb, in Theorie und Simulation. Schwerpunkte des Kraftfahrwesens sind hierbei die Aerodynamik, Akustik (NVH), Fahrodynamik und Fahrermodellierung, Leichtbau, Sicherheit, Kraftübertragung sowie Energie und Thermomanagement – auch in Verbindung mit hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugkonzepten.

Der Bereich Fahrzeugantriebe widmet sich den Themen Brennverfahrensentwicklung einschließlich Regelungs- und Steuerungskonzeptionen bei zugleich minimierten Emissionen, komplexe Abgasnachbehandlung, Aufladesysteme und -strategien, Hybridsysteme und Betriebsstrategien sowie mechanisch-akustischen Fragestellungen.

Themen der Kraftfahrzeug-Mechatronik sind die Antriebsstrangregelung/Hybride, Elektromobilität, Bordnetz und Energiemanagement, Funktions- und Softwareentwicklung sowie Test und Diagnose.

Die Erfüllung dieser Aufgaben wird prüfstandsseitig neben vielem anderen unterstützt durch 19 Motorenprüfstände, zwei Rollenprüfstände, einen 1:1-Fahrsimulator, einen Antriebsstrangprüfstand, einen Thermowindkanal sowie einen 1:1-Aeroakustikwindkanal.

Die wissenschaftliche Reihe „Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart“ präsentiert über die am Institut entstandenen Promotionen die hervorragenden Arbeitsergebnisse der Forschungstätigkeiten am IVK.

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende
Lehrstuhl Fahrzeugantriebe,
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Jochen Wiedemann
Lehrstuhl Kraftfahrwesen,
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

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

Matthias Zimmer

Durchgängiger Simulationsprozess zur Effizienzsteigerung und Reifegraderhöhung von Konzeptbewertungen in der Frühen Phase der Produktentstehung

Matthias Zimmer
Stuttgart, Deutschland

Zugl.: Dissertation Universität Stuttgart, 2015

D93

Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart
ISBN 978-3-658-11499-2 ISBN 978-3-658-11500-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-11500-5

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 2015

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 Fachmedien Wiesbaden ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Danksagung

Mein besonders herzlicher Dank für diese Arbeit gilt meinem Doktorvater und Hauptberichter Professor Hans-Christian Reuss sowie meinem Mitberichter Professor Alexander Verl.

Diese Arbeit wäre ohne die Unterstützung und den Einsatz von Armin Müller nicht entstanden. Vielen Dank für die Möglichkeit und die zahlreichen Impulse sowie spannenden Diskussionen bis in die späten Abendstunden.

Des Weiteren möchte ich mich für die unentwegte Unterstützung bei meiner Frau Diana und meiner Familie Richard, Renate und Oliver sowie Gudrun und Irmgard bedanken.

Ohne die zahlreichen Ideen und den Einsatz meines Freundes und Kollegen Mark Krausz wäre diese Arbeit nicht so entstanden wie sie entstanden ist. Vielen Dank!

Außerdem gilt mein Dank meinem Freund und Kollegen Nicolas Heitger, der immer Zeit und ein offenes Ohr gefunden hat.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Kollegen am FKFS bedanken. Allen voran Gerd Baumann und Edwin Baumgartner sowie Marc Stephan Krützfeld für die Unterstützung in den diversesten Fällen.

Bei Michael Dimitrov und Udo Weckenmann bedanke ich mich für die langjährige Unterstützung der Rahmenbedingungen für diese Arbeit.

Matthias Zimmer

Abstract

Bereits in den frühen Phasen der Produktentstehung ist es notwendig der steigenden Variantenvielfalt und wachsenden Komplexität in der Automobilentwicklung, zum Beispiel durch Hybridisierung und zunehmende Vernetzung, mit effektiven Methoden und Prozessen zu begegnen. Eine schnelle und effiziente Bewertung von Fahrzeugkonzeptvarianten unterstützt die Entscheidungsfindung und ermöglicht eine effektivere Nutzung des vorhandenen Zeitfensters für Machbarkeitsuntersuchungen. Dies trägt zur weiteren, oftmals von Unternehmen angestrebte Umsetzung des Frontloading bei.

Zur Unterstützung der Projektdokumentation ist eine Ablage der Bewertungsergebnisse sowie der verwendeten Simulationsdaten von großem Nutzen, da hierdurch eine nachhaltige Bewertungsqualität und Nachvollziehbarkeit sichergestellt wird. Zusätzlich gewährleisten ein hoher Grad an Automatisierung und die Verwendung eines zentralen Werkzeugs sowie eine benutzerfreundliche Bedienung des Simulationsprozesses einen hohen Durchsatz sowie hohe Akzeptanz. Damit können unterschiedliche Konzeptfahrzeuge äußerst flexibel abgebildet werden.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Ziel eines durchgängigen Simulationsprozesses zur Steigerung des Reifegrades von Konzeptbewertungen in der Frühen Phase der Produktentwicklung. Es wird außerdem vorgestellt, in welchem Kontext die Methode und der Prozess in der Entwicklung bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG durchgeführt und prototypisch eingesetzt werden.

Eine bereits vorhandene Produktstrukturbasis dient als Beschreibung von Fahrzeugen in der Konzeptphase. Dieses Dokument basiert auf einem bereichsübergreifenden, etablierten Aufbau in dem die im Fahrzeug vorhandenen Bauteile und Komponenten eingetragen sind. Diese Struktur erlaubt Fahrzeuge klassen- und markenunabhängig zu beschreiben und damit eine einfache Vergleichbarkeit herzustellen. Dieser gewählte Strukturierungsansatz wird durch das Vorgehensmodell hindurch stringent eingehalten. Die Produktstrukturbasis findet Verwendung als Dokument zur Konzeptbeschreibung. Mit der so erzeugten Fahrzeugbeschreibung wird der vollständig automatisierte Bewertungsprozess initiiert. Der Bewertungsprozess beinhaltet nach dem Auslesen des Eingangsdokuments neben der Zuordnung der Komponenten mit deren Modellen und Parametersätzen zusätzlich die Durchführung und Auswertung der Simulation.

Der Aufbau des zugrundeliegenden Modellgerüsts folgt der gleichen modularen Struktur, die zur Beschreibung des Fahrzeugs verwendet wird. Abhängig von den zur Verfügung stehenden Informationen über die Komponenten des Fahrzeugs und dem zu betrachtenden Szenario wird das Modellgerüst zu einem

spezifischen Gesamtfahrzeugsimulationsmodell vervollständigt. Der gesamte Ablauf erfolgt automatisiert und lässt sich über benutzerfreundliche Bedienoberflächen steuern.

Konkret ist das Werkzeug für erste Machbarkeitsstudien in der Frühen Phase der Fahrzeugentwicklung bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG vorgesehen. Eine schnelle Bewertung der Fahrzeugeigenschaften und der anschließende Abgleich mit den zu erreichenden Zielwerten sind mit Hilfe des Simulationsprozesses möglich. Dazu werden Fahrzeugkonfigurationen erzeugt und deren Eigenschaften simulativ ermittelt, so dass diese voraussichtlichen Ist-Werte mit den vorgegebenen Zielwerten als Benchmark verglichen werden können. Außerdem können durch den Einsatz dieser Methode Lastprofile für Bauteilanforderungen abgeleitet werden, welche in der Frühen Phase der Konzeptbewertung eine wichtige Rolle einnehmen. Damit ist es möglich sehr effizient geeignete Konzeptvarianten zu bewerten und mögliche Derivate abzuleiten. Der hohe Grad der Automatisierung stellt eine schnelle Bewertungsmöglichkeit dar. So kann eine ständige Aktualisierung des momentanen Projektstandes realisiert werden.

Der vorgestellte Simulationsprozess stützt sich auf die VDI Richtlinie 2221, da der Aufbau eines Simulationsmodells zur Simulationsfreigabe von Anforderungen als ein Prozess des methodischen Konstruierens angesehen werden kann. Diese Vorgehensweise ist an die 2. Ausgabe der VDI Richtlinie 2221 zum methodischen Entwickeln und Konstruieren angelehnt und ermöglicht eine schnelle und flexible Konzeptbewertung. Die Richtlinie liefert eine Strukturierung wesentlicher Zusammenhänge und daraus ableitbare Arbeitsabschnitte und mögliche Arbeitsergebnisse. Zusätzlich ermöglicht eine offene Modellarchitektur zahlreiche Bewertungsmöglichkeiten und macht die Anwendung beliebig erweiterbar. Außerdem unterstützt dieser Bewertungsprozess die Dokumentation während der Produktentstehung und stellt eine Neuigkeit hinsichtlich der eingesetzten Methode sowie der Anwendbarkeit dar.

Durch die konzeptuelle Anwendung des Simulationsprozesses als Bewertungswerkzeug für Fahrzeugkonzepte werden erste Erfahrungen gewonnen, die unmittelbar in die Entwicklung des Simulationswerkzeugs einfließen und eine vorgesehene Etablierung als wesentlichen Bestandteil in der Frühen Phase der Produktentstehung bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG forcieren.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	V
Abstract	VII
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einführung	1
1.1 Motivation und Hintergrund	1
1.2 Problemstellung	7
1.3 Ziel der Arbeit	10
1.4 Gegenstand der Untersuchung und Forschungsfrage	11
1.5 Aufbau der Arbeit	15
2 Von der Idee über das Konzept zum Serienprodukt	17
2.1 Die Produktentwicklung und der Produktentstehungsprozess	17
2.2 Der Produktentstehungsprozesses in der Automobilindustrie.....	21
2.3 Die Rolle von Zulieferern im Produktentstehungsprozess.....	24
2.4 Die Frühe Phase des PEPs in der Automobilindustrie.....	25
2.5 VDI 2221 als Vorgehensmodell.....	29
3 Simulationsgrundlagen	35
3.1 Definition des Begriffs Simulation	36
3.2 Definition des Begriffs System	37
3.3 Kompliziertes oder komplexes System?.....	38
3.4 Definition des Begriffs Modell	41
3.5 Klassifikation von Simulationsverfahren	43
3.5.1 Virtuelle Simulationen	44
3.6 Geometrisch und funktionsorientierte Simulationen	46
3.6.1 Geometrisch orientierte Simulation.....	46
3.6.2 Funktionsorientierte Simulation.....	47
3.6.3 Black-Box.....	49
3.6.4 White-Box	50

3.6.5	Gray-Box	50
3.7	Die Anforderungen an ein Simulationskonzept	50
3.8	Der Simulationsprozess	51
3.8.1	x-in-the-Loop	51
3.8.2	Hardware-in-the-Loop	52
3.8.3	Software-in-the-loop	53
3.8.4	Model-in-the-loop	53
3.9	Der Simulationsablauf	54
3.10	Der Simulationsnutzen	55
3.11	Der Simulationsaufwand	57
3.12	Grenzen der Simulation	57
3.13	Durchgängigkeit	58
3.14	Management der Durchgängigkeit	58
4	Prozessmodelle und Simulationswerkzeuge	61
4.1	Prozessmanagement	61
4.2	Stand der Technik und Defizite der aktuellen Simulationswerkzeuge	63
4.3	Simulationswerkzeuge	66
4.3.1	Alternatives Simulationswerkzeug 1: Insellösungen	67
4.3.2	Alternatives Simulationswerkzeug 2: Simulationen koppeln	68
4.3.3	Zusammenfassung Simulationswerkzeuge	69
4.4	Matlab, Cruise und CarMaker - Simulationswerkzeuge und -plattformen	70
4.5	Fazit	75
5	Konzept zur methodischen Unterstützung für einen Entwicklungsprozess	77
5.1	Bewertungsmethoden in der Frühen Phase der Automobilindustrie ...	77
5.1.1	Aktuelle Vorgehensweise und Defizite	77
5.1.2	Eine Bewertungsmethode als Verbesserungsvorschlag	78
5.2	Der Ablauf der Simulation nach dem Vorgehensmodell VDI 2221 ...	78
5.3	Grundsätzliche Beschreibung des Simulationsprozesses	82
5.4	Der Prozess und die Umsetzung	84
5.5	Die Ausgangsbasis der Komponentenkonfiguration	85
5.5.1	Der Aufbau der Produktstrukturbasis	86
5.6	Modellbildung des Antriebsstranges	87
5.7	Modellbildung des Fahrers und der Umgebung	93
5.8	Gesamtfahrzeugmodell	93

5.9 Validierung der Modelle	94
5.10 Modell- und Parameterverwaltung.....	95
5.11 Automatisierte Modellintegration	96
5.12 Der Start des Programms ONT – die erste Bedienoberfläche.....	98
5.13 Von der Struktur zum Simulationsmodell – die zweite Bedienoberfläche	99
5.14 Die Ergebnisaufbereitung – die dritte Bedienoberfläche.....	110
5.15 Dokumentation	113
6 Anwendung am Beispiel e-generation	115
6.1 Elektromobilität und die Herausforderung der Konzeptentwicklung	115
6.2 Das Förderprojekt e-generation	117
6.3 Das Fahrzeugprojekt in e-generation – der Boxster e.....	118
6.3.1 Der Boxster e als Benchmark	120
6.3.2 Boxster e Konzept e-generation	121
6.4 Die Anforderungen und Grenzbetriebsbedingungen	122
6.5 Durchführung der Konzeptbewertung mit ONT	124
6.5.1 Bewertung des Referenzfahrzeugs	124
6.5.2 Bewertung des Boxster e aus dem Förderprojekt e-generation	126
6.6 Zusammenfassung der Bewertungen für das Projekt e-generation ...	128
7 Zusammenfassung und Ausblick.....	131
Literaturverzeichnis.....	133
Anhang.....	139

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Die zehn Megatrends nach Wyman.....	2
Abbildung 2:	Bevölkerungsentwicklung für einen prognostizierten Zeitraum von 2007 bis 2025 in Deutschland	3
Abbildung 3:	Direkt Beschäftigte in der Automobilindustrie weltweit im Jahr 2012	5
Abbildung 4:	Zunahme der Fahrzeugtypen und Derivate bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG innerhalb einer Zeitspanne von 15 Jahren.....	6
Abbildung 6:	Beteiligte Bereiche in der Produktentwicklung.....	18
Abbildung 7:	Prozessuale Gliederung der Phasen in der Produktentwicklung	19
Abbildung 8:	Qualitative Darstellung der Erfolgsdimensionen als zeitliche Abhängigkeit im Produktentstehungsprozess	21
Abbildung 9:	Die drei Erfolgsdimensionen der Betriebswirtschaftslehre	22
Abbildung 10:	Beispielhafter Produktentstehungsprozess im Automobilunternehmen	24
Abbildung 11:	Der Umsatz mit Komplettmodulen steigt über die Jahre stetig an	25
Abbildung 12:	Zunahme der externen Entwicklungsarbeiten bei Zulieferern	25
Abbildung 13:	Steigender Trend von Einzelinnovationen zu Systeminnovationen	28
Abbildung 14:	Arbeitsschritte nach VDI Richtlinie 2221	31
Abbildung 15:	Die Durchgängigkeit von der Eigenschaft zum Modul anhand eines Fahrdynamikbeispiels	33
Abbildung 16:	Schematische Darstellung eines Systems mit seinen Ein- und Ausgängen, sowie der Systemgrenze.....	38
Abbildung 17:	Entwicklungstrends in den Unternehmen	40
Abbildung 18:	Schematische Darstellung eines einfachen, komplizierten und komplexen Systems	40
Abbildung 19:	Modellbildung basierend auf Naturgesetze oder Beobachtungen.....	42
Abbildung 20:	Die Entwicklungstendenz geht in Richtung Wegfall von Versuchsreihen.....	45
Abbildung 21:	Aufteilung von Simulationen in Bereiche.....	46
Abbildung 22:	Die Simulationswerkzeuge und -programme beispielhaft dargestellt	49

Abbildung 23: Schematische Darstellung des schrittweisen Übergangs von Software in Hardware	52
Abbildung 24: Schematischer Aufbau eines HiL Testsystems	52
Abbildung 25: Schematischer Aufbau eines SiL Testsystems	53
Abbildung 26: Schematischer Aufbau eines MiL Testsystems	54
Abbildung 27: Simulationsablauf und Einsatz im Problemlösungszyklus	55
Abbildung 28: Geschlossene Prozesskette mit Unterstützung der Simulation	56
Abbildung 29: Durchgängigkeit im Simulationsprozess	59
Abbildung 30: Die drei Eckpfeiler eines durchgängigen Simulationsprozesses: Modelle, Architektur und Anforderungen	60
Abbildung 31: Logistikorientierte Wertstromanalyse und ihre Handlungsfelder	62
Abbildung 32: Aufbau eines Gesamtfahrzeugmodells aus validierten Komponenten	64
Abbildung 33: Teilsysteme als Insellösungen	68
Abbildung 34: Teilsysteme gekoppelt über eine Middleware zum Gesamtsystem	69
Abbildung 35: Hybrider Ansatz	70
Abbildung 36: Das Vorgehensmodell VDI 2221 auf der linken Seite als Leitlinie und der Simulationsprozess auf der rechten Seite	79
Abbildung 37: Die Bedienung durch Oberflächen ermöglicht eine dezentrale Steuerung	83
Abbildung 38: Die drei Erfolgsfaktoren des Bewertungsprozesses	84
Abbildung 39: Gliederungselemente der PSB am Beispiel Radträger	87
Abbildung 40: Motormodell mit seinen Ein- und Ausgängen sowie Subsystemen	89
Abbildung 41: Batteriemodell mit ihren Ein- und Ausgängen sowie Subsystemen	90
Abbildung 42: Leistungselektronikmodell mit ihren Ein- und Ausgängen sowie Subsystemen	91
Abbildung 43: Getriebemodell mit seinen Ein- und Ausgängen sowie Subsystemen	92
Abbildung 44: Fahrermodell mit seinen Ein- und Ausgängen	93
Abbildung 45: Gesamtfahrzeugmodell auf der obersten Ebene	94
Abbildung 46: Vergleich des Spannungsverlaufs der Batterie zwischen Simulation und Messungen am Prototyp	95
Abbildung 47: Schematische Darstellung der getrennten Bibliotheken	96
Abbildung 48: Inhalte einer Komponente	98
Abbildung 49: Die Dateien einer Anforderung	98

Abbildung 50:	Erste Bedienoberfläche.....	99
Abbildung 51:	Die zweite Bedienoberfläche	100
Abbildung 52:	Detaillierungsgrade am Beispiel Antrieb zu einem bestimmten Zeitpunkt.....	103
Abbildung 53:	Anzeigefunktion zur Darstellung der Ist und Soll Detaillierungsgrade	106
Abbildung 54:	Eindeutige Fahrzeugkonfiguration	107
Abbildung 55:	Schematische Darstellung des Simulationsablaufs.....	107
Abbildung 56:	Simulationsmenü in ONT und Eingabemaske	108
Abbildung 57:	Simulationsfortschritt und -zeit zur Kontrolle des Simulationsablaufs	109
Abbildung 58:	Auswahl der durchgeführten Manöver	111
Abbildung 59:	Ergebnisdarstellung und Dokumentation der Simulationsabläufe.....	112
Abbildung 60:	Die drei Kerneigenschaften im Spannungsfeld der Konzeptentwicklung.....	117
Abbildung 61:	Schnitt durch die Karosserie des konventionellen Serienfahrzeugs mit den schematischen Bauräumen	119
Abbildung 62:	4WD Topologie des Boxster e Prototyps aus dem Jahr 2010.....	121
Abbildung 63:	4WD Topologien der Boxster e Konzepte aus dem Projekt e-generation	122
Abbildung 64:	Anforderungsliste aus e-generation	123
Abbildung 65:	Die sieben Anforderungen in ONT an das Boxster e Konzept aus dem Jahr 2010.....	125
Abbildung 66:	Die Anforderungen und Grenzbetriebsbedingungen von e-generation an die Fahrzeugkonzepte	127
Abbildung 67:	Vergleich der Geschwindigkeiten über der Zeit beider Konzeptfahrzeuge	129
Abbildung 68:	Vergleich der Beschleunigungen über der Zeit beider Konzeptfahrzeuge	130
Abbildung 69:	Geschwindigkeitsprofil NEFZ	139
Abbildung 70:	Geschwindigkeitsprofil Artemis 150.....	139

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisse der Anforderungen.....	126
Tabelle 2:	Ergebnisse der Anforderungen von e-generation	128

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung **Begriff**

2WD	Zweiradantrieb
4WD	Vierradantrieb
ABS	Antiblockiersystem
AC	Wechselspannung
ASIM	Arbeitsgemeinschaft Simulation
ASR	Antriebsschlupfregelung
ATZ	Automobiltechnische Zeitschrift
AVL	Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMVBS	Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMW	Bayrische Motoren Werke
CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer-Aided Engineering
CATIA	Computer-Aided Three-dimensional Interactive Application
CFK	Carbon-faserverstärkter Kunststoff
DC	Gleichspannung
DG	Detaillierungsgrad
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
F&E	Forschung und Entwicklung
FEM	Finite-Element Methode
FKFS	Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart
GUI	Graphical User Interface
ICOS	Independent Co-Simulation