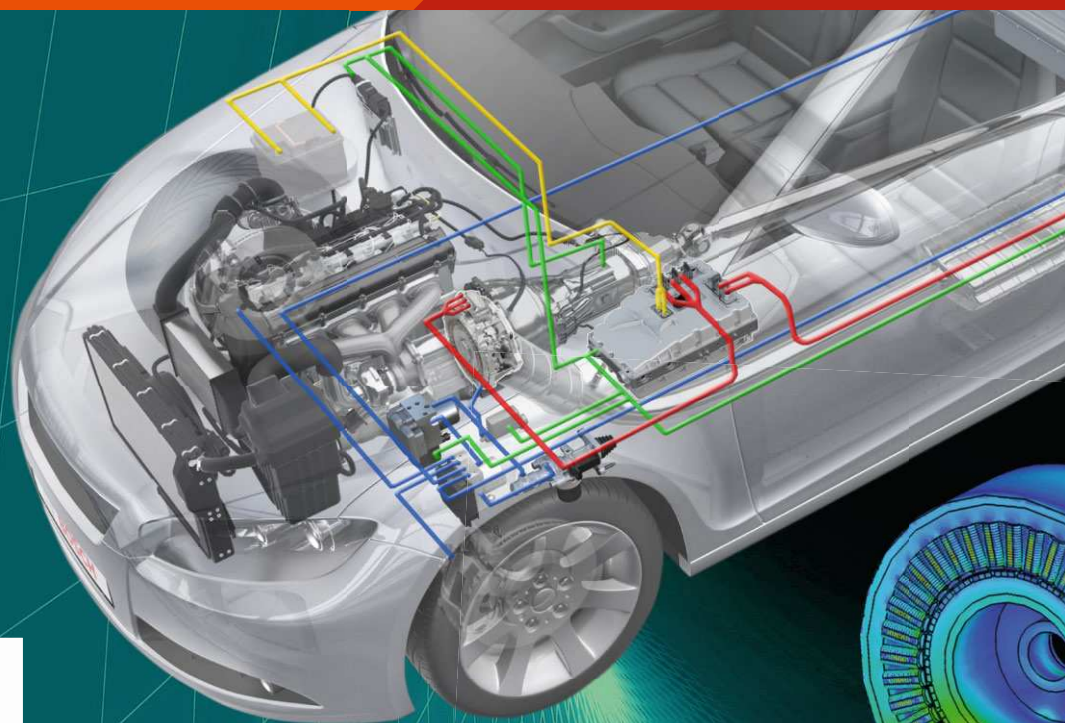


Hans-Hermann Braess | Ulrich Seiffert (Hrsg.)

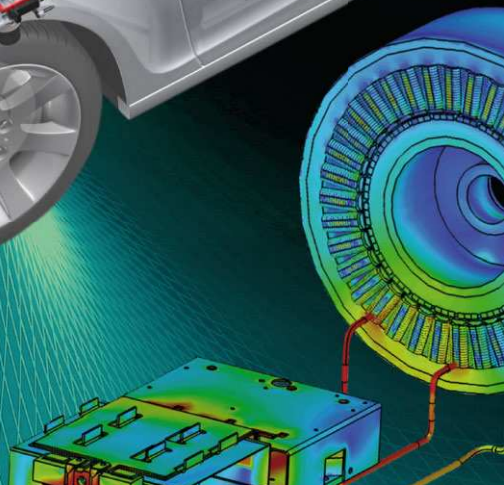
Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

6. Auflage

ATZ



**VIEWEG+
TEUBNER**



Hans-Hermann Braess | Ulrich Seiffert (Hrsg.)

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

Hans-Hermann Braess | Ulrich Seiffert (Hrsg.)

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

6., aktualisierte und erweiterte Auflage

Mit 1214 Abbildungen und 122 Tabellen

ATZ/MTZ-Fachbuch



VIEWEG+
TEUBNER

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.

Die Abbildungen zur Gestaltung des Umschlags wurden uns freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:
AVL-Trimerics, Hauptsitz Filderstadt (Simulation)
Bosch (Foto)

1. Auflage 2000
2. Auflage 2001
- 3., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage 2003
- 4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage 2005
- 5., überarbeitete und erweiterte Auflage 2007
- 6., aktualisierte und erweiterte Auflage 2011

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2011

Lektorat: Ewald Schmitt | Elisabeth Lange

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe 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.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Satz: Druckhaus Thomas Müntzer, Bad Langensalza

Bilder: Graphik & Text Studio, Dr. Wolfgang Zettlmeier, Barbing

Druck und buchbinderische Verarbeitung: AZ Druck und Datentechnik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-1011-3

Vorwort

Diese Neuauflage des Handbuches Kraftfahrzeugtechnik ist der Nachfolger des über viele Jahrzehnte herausgegebenen Taschenbuches der Professoren Heinrich Buschmann und Paul Koeßler. Dessen Erstausgabe erschien im Jahre 1940. Professor Koeßler gab im Jahre 1973 die achte und damit letzte Auflage heraus. Fahrzeugingenieure benutzen noch heute die in diesem Buch dargestellten Grundlagen für ihre Arbeit. Wir haben es deshalb als besondere Herausforderung empfunden, an der vollständigen Neufassung dieses für Lehre, Forschung und Praxis wichtigen Werkes als Herausgeber und Autoren mitwirken zu können. Das vorliegende Buch beschreibt in umfassender Weise die faszinierende Welt des Automobils und seiner Entwicklung. Mehr als 100 namhafte Persönlichkeiten der Automobil- und Zulieferindustrie sind als Mitautoren beteiligt. Damit ist dieses Handbuch auch ein Zeitdokument, welches den heutigen hohen Stand und die rasante Weiterentwicklung des Kraftfahrzeuges beschreibt.

Ausgehend von den Bedürfnissen nach Mobilität werden die Anforderungen und die daraus folgenden Zielkonflikte definiert, aus denen sich in Verbindung mit den physikalisch-technischen Grundlagen die Rahmenbedingungen für moderne Fahrzeuge ergeben. Das Design ist ein ganz wesentliches Element für Kundengewinnung, Kaufentscheid und Kundenakzeptanz und wird deshalb ausführlich behandelt. Das Kapitel Fahrzeugkonzepte und Package zeigt auf, dass es, je nach konkreten Schwerpunktsetzungen, zu einer großen Vielfalt unterschiedlicher Gesamtkonzepte und Varianten kommt. Ergänzend wird auf spezielle Aspekte und Konsequenzen alternativer Antriebskonzepte wie Elektroantrieb, Brennstoffzelle, Hybridantrieb und Gasturbine eingegangen.

Einen breiten Raum nimmt das Kapitel der „klassischen“ Antriebe ein. Moderne Hubkolbenmotor-Technik für Otto- und Dieselmotoren prägen neben der Elektromobilität die absehbare Zukunft. Es wird deutlich, dass beide Motorarten weiterhin ein hohes Weiterentwicklungspotenzial aufweisen. Abgasnachbehandlung, Aufladung und Optimierung der Nebenaggregate sind weitere wichtige Themen. Die Getriebevarianten werden immer zahlreicher, wie die Beispiele Doppelkupplungsgetriebe oder Allradantriebskonzepte zeigen. Auch wenn es um den Zweitaktmotor wieder ruhig geworden ist, werden dennoch seine Chancen und Probleme analysiert. Langfristig von großer Bedeutung sind additive und alternative Kraftstoffe bzw. Antriebsenergien, die im Vergleich behandelt werden. Der Fahrzeugaufbau wird ebenfalls immer anspruchsvoller und komplexer, wie schon die Anzahl der behandelten Themen zeigt. Diese reichen von den Grundlagen selbsttragender Karosserien, Space-Frame-Techniken und Cabriolets über Ergonomie und Komfort bis hin zu Kommunikations- und Navigationssystemen. Auch im Fahrwerk steigt der Elektronik-Umfang weiter an – Stichworte sind „Drive by Wire“ und Fahrerassistenzsysteme. Damit ist schon angedeutet, dass fast alle Funktionen und Systeme im Fahrzeug elektronische Komponenten beinhalten werden. Neu ist das umfassende Kapitel Fahrzeugsicherheit. In diesem werden die unfallvorbeugenden, die unfallfolgenmildernden Maßnahmen und die integrale Sicherheit dargelegt.

Die steigenden Anforderungen haben in den letzten Jahrzehnten zu deutlichen Erhöhungen der Fahrzeuggewichte geführt. Werkstofftechnik, Fertigungsverfahren und Bauweisen der Zukunft haben deshalb besonders der Forderung nach Leichtbau zu genügen, ohne dabei weitere Aspekte, wie das Recycling, zu vernachlässigen. Bei der damit zusammenhängenden steigenden Komplexität der Fahrzeuge, ihrer Entwicklung, der Vernetzung der Fahrzeughersteller und ihrer Systemlieferanten, weltweiter Fertigungsstätten usw. ist es zwangsläufig, dass der Optimierung des Produktentstehungsprozesses eine immer größere Bedeutung zukommt. Verkürzung der Entwicklungszeiten, Begrenzung der Entwicklungskosten bei steigenden Qualitätsansprüchen zwingen zum systematischen Einsatz von Berechnungs-, Simulations-, Mess-/Versuchs- und Qualitätssicherungsverfahren sowie „Virtual Reality“-Methoden; alle am Produktentste-

hungsprozess Beteiligten arbeiten, wie ausführlich gezeigt wird, von Anfang an zusammen („Simultaneous Engineering“).

Die sechste Auflage geht über Aktualisierungen und Erweiterungen, z.B. hinsichtlich der Fahrzeugsicherheit, Software und Wettbewerbsfahrzeuge, hinaus. Dies zeigt sich ganz besonders im Hauptkapitel Elektrik, Elektronik und Software, das dem aktuellen Stand und den Entwicklungstendenzen entsprechend neu strukturiert und in wesentlichen Teilen neu bearbeitet wurde. In diesem Zusammenhang sind besonders Telematik, Infotainment und Multimediaanwendungen zu nennen.

Verschiedene Neuentwicklungen, aber auch die öffentlichen Diskussionen zur globalen CO₂-Situation, zum Feinstaub und Stickoxid haben einen starken Einfluss auf die Fahrzeugentwicklung. Die Aktualisierungen zeigen sich in praktisch allen Antriebskapiteln, vor allem bei den Hybridantriebs-Konzepten und reinen Elektroantrieben sowie beim umfassenden Bordenergie-Management. Wegen der rasanten Weiterentwicklung war es notwendig, alle relevanten Kapitel zu überarbeiten und zu aktualisieren.

Bei der Erstellung dieses Handbuches stand das große Fachwissen vieler Experten aus wissenschaftlichen Einrichtungen und der gesamten deutschsprachigen Industrie zur Verfügung. Allen Autoren sagen wir für ihre Beiträge herzlichen Dank, ebenso wie dem Vieweg+Teubner Verlag für die Anregung, dieses Handbuch herauszubringen, und den Mitarbeitern, vor allem Frau Elisabeth Lange und Herrn Ewald Schmitt sowie allen Lesern für die Hinweise, die zu den Verbesserungen in der sechsten Auflage geführt haben.

Grünwald/Braunschweig im September 2011

*Hans-Hermann Braess
Ulrich Seiffert*

Kapitel, Beiträge und Mitarbeiter

1	Mobilität	Dipl.-Kfm. Frank Hansen
2	Anforderungen, Zielkonflikte	
2.1	Produktinnovation, bisherige Fortschritte	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert
2.2	Anforderungen durch den Gesetzgeber	Eckhard Zinke Hans-Jürgen Nettlau
2.2.8	Normen	Egbert Fritzsche
2.3	Neue Technologien	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans-Hermann Braess
3	Fahrzeugphysik	
3.1	Grundlagen	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert
3.2	Aerodynamik	Dr.-Ing. Heinz Mankau
3.3	Wärmetechnik	Dr. Andreas Eilemann Dr.-Ing. Thomas Heckenberger Dr. Markus Wawzyniak
3.4	Akustik und Schwingungen	Dipl.-Ing. Johannes Guggenmos
4	Formen und neue Konzepte	
4.1	Design	Dipl.-Des. Hans Dieter Futschik
4.2	Fahrzeugkonzept und Package	Dipl. Ing. Dipl. Wirtsch. Ing. August Achleitner Dr.-Ing. Gernot Döllner
4.3	Neuartige Antriebe	
4.3.1	Elektroantriebe	Dr.-Ing. Jürgen K.-H. Friedrich
4.3.2	Brennstoffzellenantriebssysteme	Dr. Christian H. Mohrdeck Herbert Schulze Dr. Martin Wöhr
4.3.3	Hybridantrieb	Dipl.-Ing. (FH) Peter Antony Dipl.-Ing. Manuel Urstöger
4.3.4	Stirlingmotor, Dampfmotor, Gasturbine und Schwungrad	Prof. Dipl.-Ing. Karl E. Noreikat Markus Wagner, B. Eng.
4.3.5	Der Wasserstoff-Verbrennungsmotor	Dr. Edgar Berger Dipl.-Ing. Manfred Gruber Dr.-Ing. Gerrit Kiesgen
5	Antriebe	
5.1	Grundlagen der Motorentechnik	Prof. Dr. Dr. E.h. Franz Pischinger/
5.1.5	Ottomotoren	Dr.-Ing. Philipp Adomeit
5.2	Dieselmotor	Dipl.-Ing. Richard Dorenkamp Dr. Klaus-Peter Schindler
5.3	Aufladung	Prof. Dr.-Ing. Roland Baar
5.4	Triebstrang	Dr. Jürgen Greiner Dr.-Ing. Gerhard Gumpoltsberger Dr. Christoph Sasse Dipl.-Ing. Klaus Steinel
5.5	Allradantriebe, Brems- und Antriebsregelungen	
5.5.1	Allradantriebs-Konzepte	Dipl.-Ing. Heribert Lanzer Ing. Hermann Pecnik Gerhard Kurz
5.5.2	Antriebs- und Bremsregelung	Dipl.-Ing. Martin Stüttem
5.6	Abgasanlagen	Dipl.-Ing. Markus Beck
5.7	Bordenergie-Management	Dipl.-Ing. Markus Beck
5.8	Chancen und Risiken des Zweitaktmotors	Dipl.-Ing. MSc Bert Pinggen
5.9	Konventionelle und alternative Kraftstoffe und Energieträger	Dr. rer. nat. Ingo Drescher Dr.-Ing. Eckart Heinel

6 Aufbau

- 6.1 Karosseriebauweisen
Dipl.-Ing. Lothar Teske
Dipl.-Ing. Helmut Goßmann
- 6.1.2 Space-Frame
Dipl.-Ing. Heinrich Timm
- 6.1.3 Karosserie Stahlleichtbau-Studien
Dr. rer. pol. Dipl.-Ing. Ludwig Hamm
Dipl.-Ing. Volker Peitz
- 6.1.4 Cabriolet
Walter Pecho
- 6.1.5 Frontendmodule
Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer
- 6.2 Materialien der Karosserie
Prof. Dr. Rudolf Stauber
Dr.-Ing. René Konorsa
Dr. Klaus Werner Thomer
- 6.3 Oberflächenschutz
- 6.4 Fahrzeuginnenraum
- 6.4.1 Ergonomie und Komfort
Thomas Herpel
Peer-Oliver Wagner
- 6.4.2 Kommunikationssysteme und Navigation
Dipl.-Ing. Ernst Peter Neukirchner
- 6.4.3 Innenraumbehaglichkeit/Thermischer Komfort
Dr. Markus Wawzyniak
- 6.4.4 Fahrzeuginnenausstattung
Georg Laukart
- 6.5 Wischer- und Wascheranlagen
Dipl.-Ing. Thomas Vorberg
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h.
Hans-Hermann Braess

7 Fahrwerk

- 7.1 Einführung
Dr.-Ing. Axel Pauly
- 7.2 Bremssysteme
Dipl.-Ing. Steffen Gruber
Dipl.-Ing. Norbert Ocvirk
Dipl.-Ing. James Remfrey
- 7.3 Reifen, Räder, Gleitschutzketten
Dipl.-Phys. Heiner Volk
- 7.3.7 Räder
Dipl.-Ing. Roman Müller
- 7.3.8 Gleitschutzketten
Dr. Hansjörg Rieger
- 7.4 Fahrwerkauslegung
Dr. Andreas Bootz
Dipl.-Ing. Oliver Hohenöcker
Dipl.-Ing. Johann Niklas
Dipl.-Ing. Ludwig Seethaler
- 7.5 Beurteilungskriterien
Dr.-Ing. Erich Sagan
Dipl.-Ing. Thomas Unterstraßer (†)
- 7.6 Kraftstoffsystem
Dipl.-Ing (FH) Martin Lauterbach
Maik Miklis
- 7.7 Kraftstoffversorgungsanlagen für alternative Energieträger
Dipl.-Ing. Gregor Fischer

8 Elektrik/Elektronik/Software

- 8.1 Bedeutung Elektrik/Elektronik/Software für das Automobil
Dipl.-Ing. Bernd Kunkel
Dr.-Ing. Thomas Scharnhorst
Dr. Gabriel Schwab
- 8.2 Das Bordnetz
Prof. Dr. rer. nat. Ludwig Brabetz
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Lehold
- 8.3 Kommunikationsbordnetze
Dr. Dirk Dudenbostel
Dipl.-Ing. Klaus Schneider
Dipl.-Ing. Thomas Volk
Dr. Wolfgang Pfaff
- 8.4 Elektromagnetische Verträglichkeit
- 8.5 Funktionsdomänen
- 8.5.1 Einleitung
- 8.5.2 Beleuchtung
Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer
- 8.5.3 Cockpit-Instrumentierung
Dr. Heinz-Bernhard Abel
Dr. Heinrich-Jochen Blume
- 8.5.4 Infotainment/Multimedia
Dipl.-Ing. Gerhard Heyen
Dipl.-Ing. Markus Kreye

8.5.4.7	Fahrzeugantennen	Dr.-Ing. Guido Schneider
8.5.5	Fahrerassistenzsysteme	Prof. Dr.-Ing. Peter Knoll
8.5.6	Telematik	Dipl.-Ing. Günther Kasties
8.6	Mensch-Maschine-Interaktion	Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer
8.7	Software	Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Broy
8.8	Moderne Methoden der Regelungstechnik	Dr. Jörg Helbig Dr. Lothar Ganzelmeier
9	Fahrzeugsicherheit	
9.1	Allgemein	Dr. Mark Gonter
9.2	Gebiete der Fahrzeugsicherheit	Dr.-Ing. Thomas Schwarz
9.3	Ergebnisse aus der Unfallforschung	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert Dr. rer. nat. Robert Zobel
9.4	Unfallvermeidende Sicherheit	
9.5	Biomechanik und Schutzkriterien	
9.6	Quasistatische Anforderungen an die Karosserie	
9.7	Dynamische Fahrzeugkollision	
9.8	Insassenschutz	
9.9	Integrale Sicherheit	
9.10	Rechnerunterstützung bei der Entwicklung von Sicherheitskomponenten	
9.11	Zusammenfassung	
10	Werkstoffe und Fertigungsverfahren	
10.1	Ein Blick zurück	Dr. rer. pol. Dipl.-Ing. Ludwig Hamm Dipl.-Ing. Volker Peitz
10.2	Werkstoffe moderner Kraftfahrzeuge	
10.3	Wettbewerb und Zusammenspiel der Werkstoffe	
10.4	Wälzlager im Fahrzeugbau	Dr.-Ing. Robert Plank Berthold Krautkrämer Reinhart Malik Dr. Peter Solfrank
11	Produktentstehungsprozess	
11.1	Simultaneous Engineering und Projektmanagement im Produktentstehungsprozess	Dr.-Ing. Ulrich Widmann
11.2	Fahrzeugkonzeption in der frühen Entwicklungsphase	Dr.-Ing. Claus Ehlers Prof. Dr.-Ing. Thomas Breitling
11.3	Berechnung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung	Dr.-Ing. Ulrich Widmann
11.4	Mess- und Versuchstechnik	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans-Hermann Braess
11.5	Qualitätsmanagement	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans-Hermann Braess
11.6	Betrieb und Instandhaltung von Kraftfahrzeugen	Norbert Grawunder Prof. Dr.-Ing. Volker Liskowsky
12	Rennfahrzeuge	
12.1	Einsatzbedingungen	Dipl.-Ing. Willy Rampf
12.2	Fahrzeug-Kategorien	Dipl.-Ing. Ulrich Schulz
12.3	Bauweise	Prof. Dr.-Ing. Mario Theissen
12.4	Performance und Rundenzeit	
12.5	Entwicklung Aerodynamik und Fahrdynamik	
12.6	Zuverlässigkeit	
13	Ausblick – Wo geht es hin?	Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans-Hermann Braess Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert

Autorenverzeichnis

Abel, Heinz-Bernhard, Dr.	Continental Automotive GmbH, Babenhausen www.continental-corporation.com
Achleitner, August, Dipl.-Ing. Dipl. Wirtsch. Ing.	Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach www.porsche.de
Adomeit, Philipp, Dr.-Ing.	FEV Motorentechnik GmbH, Aachen www.fev.com
Antony, Peter, Dipl.-Ing. (FH)	DaimlerAG, Sindelfingen www.daimler.com
Baar, Roland, Prof. Dr.-Ing.	Voith Turbo Aufladungssysteme GmbH & Co. KG, Gommern www.voith.com
Beck, Markus, Dipl.-Ing.	Bosch Engineering GmbH, Abstatt www.bosch-engineering.de
Berger, Edgar, Dr.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Blume, Heinrich-Jochen, Dr.	Continental Automotive GmbH, Babenhausen www.continental-corporation.com
Bootz, Andreas, Dr.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Braess, Hans-Hermann, Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h.	Honorarprofessor an der TU München, TU Dresden und HTW Dresden
Brabetz, Ludwig, Prof. Dr. rer. nat.	Universität Kassel www.uni-kassel/fb16/fsg
Breitling, Thomas, Prof. Dr.-Ing.	Daimler AG, Sindelfingen www.daimler.com
Broy, Manfred, Prof. Dr. Dr. h.c.	Technische Universität München, Garching www.tu-muenchen.de
Döllner, Gernot, Dr.-Ing.	Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG, Stuttgart www.porsche.de
Dorenkamp, Richard, Dipl.-Ing.	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de
Drescher, Ingo, Dr. rer. nat.	ŠKODA AUTO a.s., CZ-Mladá Boleslav www.skoda-auto.cz
Dudenbostel, Dirk, Dr.-Ing.	Continental Automotive Systems Inc., Deer Park, IL (USA) www.continental-corporation.com
Ehlers, Claus, Dr.-Ing.	Daimler AG, Sindelfingen www.daimler.com
Eilemann, Andreas, Dr.	Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart www.behrgroup.com
Fischer, Gregor, Dipl.-Ing.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Friedrich, Jürgen K.-H., Dr.-Ing.	Daimler AG, Sindelfingen www.daimler.com
Fritzsche, Egbert	Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA), Berlin www.vda.de

Futschik, Hans Dieter, Dipl.-Designer	Daimler AG, Sindelfingen www.daimler.com
Ganzelmeier, Lothar, Dr.	VEHICO GmbH, Braunschweig www.vehico.de
Gonter, Mark, Dr.	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de
Goßmann, Helmut, Dipl.-Ing.	Adam Opel AG, Rüsselsheim www.opel.de
Grawunder, Norbert	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de
Greiner, Jürgen, Dr.	ZF Getriebe GmbH Saarbrücken, Kressbronn www.zf.com
Gruber, Manfred, Dipl.-Ing.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Gruber, Steffen, Dipl.-Ing.	Continental Teves AG & Co. oHG, Frankfurt www.conti-online.com
Guggenmos, Johannes, Dipl.-Ing.	BMW Group, München www.bmwgroup.de
Gumpoltsberger, Gerhard, Dr.-Ing.	ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen www.zf.com
Hamm, Ludwig, Dr. rer. pol. Dipl.-Ing.	Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach www.porsche.de
Hansen, Frank, Dipl.-Kfm.	BMW Group München www.bmwgroup.com
Heckenberger, Thomas, Dr.-Ing.	Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart www.behrgroup.com
Heinl, Eckart, Dr.-Ing.	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de
Helbig, Jörg, Dr.	VEHICO GmbH, Braunschweig www.vehico.de
Herpel, Thomas	BMW Group, München www.bmwgroup.de
Heyen, Gerhard, Dipl.-Ing.	Visteon Innovation & Technology GmbH, Kerpen www.visteon.com
Hohenöcker, Oliver, Dipl.-Ing.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Kasties, Günther, Dipl.-Ing.	OECON P&S GmbH, Braunschweig www.oecon-line.de
Kiesgen, Gerrit, Dr.-Ing.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Knoll, Peter M., Prof. Dr.-Ing.	Karlsruher Institut für Technologie (KIT) www.kit.edu
Konorsa, René, Dr.-Ing.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Krautkrämer, Berthold	Schaeffler Technologies GmbH und Co. KG, Herzogenaurach www.schaeffler.com

Kreye, Markus, Dipl.-Ing.	Visteon Innovation & Technology GmbH, Kerpen www.visteon.com
Kunkel, Bernd, Dipl.-Ing.	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de
Kurz, Gerhard	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Lachmayer, Roland, Prof. Dr.-Ing.	Hella KGaA, Lippstadt (jetzt: Institut für Produktentwicklung, Leibniz Universität Hannover) www.hella.com
Lanzer, Heribert, Dipl.-Ing.	MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & CO KG, A-Graz www.magnasteyr.com
Laukart, Georg	Magna Exteriors & Interiors Management GmbH, München www.magna.com
Lauterbach, Martin, Dipl.-Ing (FH)	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Lemmer, Karsten, Prof. Dr.-Ing.	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Braunschweig www.dlr.de/ts
Leohold, Jürgen, Prof. Dr.-Ing.	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.com
Liskowsky, Volker, Prof. Dr.	Westfälische Hochschule, Zwickau www.fh-zwickau.de
Malik, Reinhart	Schaeffler Technologies GmbH und Co. KG, Herzogenaurach www.schaeffler.com
Mankau, Heinz, Dr.	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de
Miklis, Maik	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Mohrdieck, Christian H., Dr.	Daimler AG, Kirchheim/Teck-Nabern www.daimler.com
Müller, Roman, Dipl.-Ing. (FH)	BBS GmbH, Schiltach www.bbs.com
Nettlau, Hans-Jürgen	Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg www.kba.de
Neukirchner, Ernst Peter, Dipl.-Ing.	Robert Bosch GmbH, Hildesheim (vormals) www.bosch.com
Niklas, Johann, Dipl.-Ing.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Noreikat, Karl E., Prof. Dipl.-Ing.	NorCon Scientific Consulting, Esslingen
Ocvirk, Norbert, Dipl.-Ing.	Continental Teves AG & Co. oHG, Frankfurt www.conti-online.com
Pauly, Axel, Dr.-Ing.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Pecho, Walter	Webasto-Edscha Cabrio GmbH, Hengersberg www.webasto.com
Pecnik, Hermann, Ing.	MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & CO KG, A-Graz www.magnasteyr.com

Peitz, Volker, Dipl.-Ing.	Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach www.porsche.de
Pfaff, Wolfgang, Dr.	Robert Bosch GmbH, Stuttgart www.bosch.com
Pingen, Bert, Dipl.-Ing. MSc	Ford-Werke GmbH, Köln www.ford.com
Plank, Robert, Dr.-Ing.	Schaeffler Technologies GmbH und Co. KG, Herzogenaurach www.schaeffler.com
Pischinger, Franz, Prof. Dr. Dr. E.h.	FEV Motorentchnik GmbH, Aachen www.fev.com
Rampf, Willy, Dipl.-Ing.	
Remfrey, James, Dipl.-Ing.	Continental Teves AG & Co. oHG, Frankfurt www.conti-online.com
Rieger, Hansjörg, Dr.	RUD Ketten Rieger & Dietz GmbH & Co. KG, Aalen www.rud.de
Sagan, Erich, Dr.-Ing.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Sasse, Christoph, Dr.	ZF Sachs AG, Schweinfurt www.zf.com
Scharnhorst, Thomas, Dr.-Ing.	WiTech Engineering GmbH www.witech-engineering.de
Schindler, Klaus-Peter, Dr.	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de
Schneider, Guido, Dr.-Ing.	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de
Schneider, Klaus, Dipl.-Ing.	Continental Automotive GmbH, Babenhausen www.continental-corporation.com
Schulz, Ulrich, Dipl.-Ing.	BMW Group, München www.bmw-motorsport.com
Schulze, Herbert	Daimler AG, Kirchheim/Teck-Nabern www.daimler.com
Schwab, Gabriel, Dr.	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de
Schwarz, Thomas, Dr.-Ing.	Audi AG, Ingolstadt www.audi.com
Seethaler, Ludwig, Dipl.-Ing.	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Seiffert, Ulrich, Prof. Dr.-Ing.	WiTech Engineering GmbH, Braunschweig www.witech-engineering.de
Solfrank, Peter, Dr.	Schaeffler Technologies GmbH und Co. KG, Herzogenaurach www.schaeffler.com
Stauber, Rudolf, Prof. Dr.	Zentralinstitut für Neue Materialien und Prozesstechnik der Universität Erlangen-Nürnberg www.zmp.uni-erlangen.de

Steinel, Klaus, Dipl.-Ing.	ZF Sachs AG, Schweinfurt www.zf.com
Stüttem, Martin, Dipl.-Ing.	Faurecia Emissions Control Technologies, Augsburg www.faurecia.com
Teske, Lothar, Dipl.-Ing.	Adam Opel AG, Rüsselsheim www.opel.de
Theissen, Mario, Prof. Dr.-Ing.	BMW Group, München www.bmw-motorsport.com
Thomer, Klaus Werner, Dr.	Adam Opel AG, Rüsselsheim (vormals) www.opel.de
Timm, Heinrich, Dipl.-Ing.	Audi AG, Ingolstadt www.audi.de
Unterstraßer, Thomas, Dipl.-Ing. (†)	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Urstöger, Manuel, Dipl.-Ing.	Daimler AG, Sindelfingen www.daimler.com
Volk, Heiner, Dipl.-Phys.	Continental AG, Hannover www.conti-online.com
Volk, Thomas, Dipl.-Ing.	Continental Automotive GmbH, Wetzlar www.continental-corporation.com
Vorberg, Thomas, Dipl.-Ing.	Altair Engineering GmbH, Böblingen www.altairproductdesign.de
Wagner, Markus, B. Eng.	Daimler AG, Stuttgart www.daimler.com
Wagner, Peer-Oliver	BMW Group, München www.bmwgroup.com
Wawzyniak, Markus, Dr.	Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart www.behrgroup.com
Widmann, Ulrich, Dr.-Ing.	Audi AG, Ingolstadt www.audi.de
Wöhr, Martin, Dr.	Daimler AG, Kirchheim/Teck-Nabern www.daimler.com
Zinke, Ekhard	Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg www.kba.de
Zobel, Robert, Dr.	Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de

Firmen- und Institutionenverzeichnis

Adam Opel AG, Rüsselsheim	Dipl.-Ing. Helmut Goßmann Dipl.-Ing. Lothar Teske Dr. Klaus Werner Thomer (vormals)
Altair Engineering GmbH, Böblingen	Dipl.-Ing. Thomas Vorberg
Audi AG, Ingolstadt	Dr.-Ing. Thomas Schwarz Dipl.-Ing. Heinrich Timm Dr.-Ing. Ulrich Widmann
BBS International GmbH, Schiltach	Dipl.-Ing. (FH) Roman Müller
Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart	Dr. Andreas Eilemann Dr.-Ing. Thomas Heckenberger Dr. Markus Wawzyniak
BMW Group, München	Dr. Edgar Berger Dr. Andreas Bootz Dipl.-Ing. Gregor Fischer Dipl.-Ing. Manfred Gruber Dipl.-Ing. Johannes Guggenmos Dipl.-Kfm. Frank Hansen Thomas Herpel Dr.-Ing. Gerrit Kiesgen Dr.-Ing. René Konorsa Gerhard Kurz Dipl.-Ing. (FH) Martin Lauterbach Maik Miklis Dipl.-Ing. Oliver Hohenöcker Dipl.-Ing. Johann Niklas Dr.-Ing. Axel Pauly Dr.-Ing. Erich Sagan Dipl.-Ing. Ulrich Schulz Dipl.-Ing. Ludwig Seethaler Prof. Dr.-Ing. Mario Theissen Dipl.-Ing. Thomas Unterstraßer (†) Peer-Oliver Wagner
Bosch Engineering GmbH, Abstatt	Dipl.-Ing. Markus Beck
Continental AG, Hannover	Dipl.-Phys. Heiner Volk
Continental Automotive Systems Ind., Deer Park, IL (USA)	Dr. Dirk Dudenbostel
Continental Automotive GmbH, Babenhausen	Dr. Heinz-Bernhard Abel Dr. Heinrich-Jochen Blume Dipl.-Ing. Klaus Schneider
Continental Automotive GmbH, Wetzlar	Dipl.-Ing. Thomas Volk
Continental Teves AG & Co. oHG, Frankfurt	Dipl.-Ing. Steffen Gruber Dipl.-Ing. Norbert Ocvirk Dipl.-Ing. James Remfrey
Daimler AG, Kirchheim/Teck-Nabern	Dr. Christian H. Mohrdieck Herbert Schulze Dr. Martin Wöhr
Daimler AG, Sindelfingen	Dipl.-Ing. (FH) Peter Antony Prof. Dr.-Ing. Thomas Breitling Dr.-Ing. Claus Ehlers Dr.-Ing. Jürgen K.-H. Friedrich Dipl.-Designer Hans Dieter Futschik Dipl.-Ing. Manuel Urstöger
Daimler AG, Stuttgart-Untertürkheim	Markus Wagner, B. Eng.
Faurecia Emissions Control Technologies, Augsburg	Dipl.-Ing. Martin Stüttem
FEV Motorentechnik GmbH, Aachen	Prof. Dr. Dr. E. h. Franz Pischinger Dr.-Ing. Philipp Adomeit
Ford-Werke GmbH, Köln	Dipl.-Ing. MSc Bert Pingen
Hella KGaA, Lipstadt	Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer (Jetzt: Institut für Produktentwicklung, Leibniz Universität Hannover)

Magna Exteriors & Interiors Management GmbH, München	Georg Laukart
MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & CO KG, A-Graz	Dipl.-Ing. Heribert Lanzer Ing. Hermann Pecnik
OECON P&S GmbH, Braunschweig	Dipl.-Ing. Günther Kasties
Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Stuttgart	Dr.-Ing. Gernot Döllner
Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach	Dipl. Ing. Dipl. Wirtsch. Ing. August Achleitner Dr. rer. pol. Dipl.-Ing. Ludwig Hamm Dipl.-Ing. Volker Peitz
Robert Bosch GmbH, Hildesheim	Dipl.-Ing. Ernst Peter Neukirchner (vormals)
Robert Bosch GmbH, Stuttgart	Dr. Wolfgang Pfaff
RUD Ketten Rieger & Dietz GmbH & Co. KG, Aalen	Dr. Hansjörg Rieger
Schaeffler Technologies GmbH und Co. KG, Herzogenaurach	Berthold Krautkrämer Reinhart Malik Dr. Robert Plank Dr. Peter Solfrank
ŠKODA AUTO a.s., CZ-Mladá Boleslav	Dr. rer. nat. Ingo Drescher
Vehico GmbH, Braunschweig	Dr. Lothar Ganzelmeier Dr. Jörg Helbig
Visteon Innovation & Technology GmbH, Kerpen	Dipl.-Ing. Gerhard Heyen Dipl.-Ing. Markus Kreye
Voith Turbo Aufladungssysteme GmbH & Co. KG, Gommern	Prof. Dr.-Ing. Roland Baar
Volkswagen AG, Wolfsburg	Richard Dorenkamp Dr. Mark Gonter Norbert Grawunder Dr.-Ing. Eckart Heinel Dipl.-Ing. Bernd Kunkel Prof. Dr.-Ing. Jürgen Lehold Dr.-Ing. Heinz Mankau Dr. Klaus-Peter Schindler Dr.-Ing. Guido Schneider Dr. Gabriel Schwab Dr. Robert Zobel
Webasto-Edscha Cabrio GmbH, Hengersberg	Walter Pecho
WiTech Engineering GmbH, Braunschweig	Dr.-Ing. Thomas Scharnhorst Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert
ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen	Dr.-Ing. Gerhard Gumpoltsberger
ZF Getriebe GmbH Saarbrücken, Kressbronn	Dr. Jürgen Greiner
ZF Sachs AG, Schweinfurt	Dr. Christoph Sasse Dipl.-Ing. Klaus Steinle
Institutionenverzeichnis	
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Braunschweig	Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	Prof. Dr.-Ing. Peter M. Knoll
Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg	Eckhard Zinke Hans-Jürgen Nettlau
NorCon Scientific Consulting, Esslingen	Prof. Dipl.-Ing. Karl E. Noreikat
Technische Universität München	Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Broy
Universität Kassel	Prof. Dr. rer. nat. Ludwig Brabetz
Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA), Berlin	Egbert Fritzsche
Westfälische Hochschule Zwickau	Prof. Dr.-Ing. Volker Liskowsky
Zentralinstitut für Neue Materialien und Prozesstechnik der Universität Erlangen-Nürnberg	Prof. Dr. Rudolf Stauber

Inhaltsverzeichnis

1	Mobilität	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Ursachen und Arten der Mobilität	2
1.2.1	Definitionen	2
1.2.2	Aktivitäten bestimmen Mobilität	3
1.2.3	Transportsysteme für den Güterverkehr	4
1.2.4	Einige spezielle Ausprägungen von Mobilität	4
1.3	Spannungsfelder und Auswirkungen der Mobilität	4
1.4	Mobilitätsrelevante Anforderungen an Automobile	5
1.4.1	Grundsätzliche Anforderungen	5
1.4.2	Einige spezielle Anforderungen	6
2	Anforderungen, Zielkonflikte	7
2.1	Produktinnovation, bisherige Fortschritte	7
2.1.1	Kundenwünsche	7
2.1.2	Gesetzgebung	8
2.1.3	Fahrzeugtechnik	9
2.2	Anforderungen durch den Gesetzgeber	15
2.2.1	Zulassung zum Straßenverkehr	15
2.2.2	Die nationalen und supranationalen Rechtsquellen	15
2.2.2.1	Straßenverkehrsrecht mit StVZO	15
2.2.2.2	Rechtsakte der Europäischen Union	17
2.2.2.3	Regelungen der UN-Wirtschaftskommission für Europa	18
2.2.2.4	Weitere Maßnahmen zum Abbau von Handelshemmnissen	18
2.2.3	Unfallvorbeugung (aktive Sicherheit)	19
2.2.3.1	Allgemeines	19
2.2.3.2	Bremsanlage	19
2.2.3.3	Sichtfeld	20
2.2.3.4	Lichttechnische Einrichtungen	20
2.2.4	Unfallfolgenmilderung (passive Sicherheit)	20
2.2.4.1	Allgemeines	20
2.2.4.2	Insassenschutz bei Frontalaufprall	20
2.2.4.3	Insassenschutz bei Seitenaufprall	21
2.2.4.4	Fußgängerschutz	21
2.2.5	Anforderungen an das Emissionsverhalten	21
2.2.5.1	Allgemeines	21
2.2.5.2	Geräuschpegel und Auspuffanlage	22
2.2.5.3	Abgase	22
2.2.5.3.1	Emissionen von Kraftfahrzeugen	22
2.2.5.4	Elektromagnetische Verträglichkeit und Funkstörung	24
2.2.6	Verschiedenes	25
2.2.6.1	Anbringung des hinteren Kennzeichens	25
2.2.6.2	Sicherungseinrichtungen gegen unbefugte Benutzung, Wegfahrsperr, Diebstahlschutz	25
2.2.6.3	Fabrikschild, Fahrzeugidentifizierungsnummer	25
2.2.6.4	Messung der Motorleistung	25
2.2.6.5	Massen und Abmessungen von Klasse M ₁ -Fahrzeugen	25
2.2.6.6	Altfahrzeuge, Recycling	25
2.2.7	Ausblick	26
2.2.8	Normen	26
2.2.8.1	Einleitung	26
2.2.8.2	Nationale und internationale Struktur	26
2.2.8.3	Grundregeln der Normungsarbeit und Anwendung von Normen	26

	2.2.8.4	Erarbeitung einer Norm	27
	2.2.8.5	Facharbeit in Normenausschüssen.....	27
	2.2.8.6	Normung in der Automobiltechnik.....	28
	2.2.8.7	Aufgaben des NA Automobil.....	28
	2.2.8.8	Normungsfelder.....	29
	2.2.8.9	Nutzen der Normung	29
2.3		Neue Technologien.....	30
3		Fahrzeugphysik.....	33
3.1		Grundlagen.....	33
	3.1.1	Definitionen.....	34
	3.1.2	Fahrwiderstand und Antrieb.....	34
	3.1.3	Kraftstoffverbrauch beeinflussende Maßnahmen.....	36
	3.1.4	Dynamische Kräfte.....	37
	3.1.5	Weitere Definitionen	37
3.2		Aerodynamik	37
	3.2.1	Grundlagen	37
	3.2.2	Wirkungsbereiche.....	39
	3.2.2.1	Luftwiderstand/Fahrleistung.....	39
	3.2.2.2	Fahrsicherheit	41
	3.2.2.3	Benetzung und Verschmutzung.....	42
	3.2.2.4	Einzelkräfte.....	43
	3.2.2.5	Kühlung/Bauteiltemperaturen	44
	3.2.2.6	Innenraumklima.....	44
	3.2.2.7	Windgeräusche	45
	3.2.3	Einordnung in die Gesamtentwicklung	46
3.3		Wärmetechnik	46
	3.3.1	Kühlung von Verbrennungsmotoren	46
	3.3.1.1	Auslegung von Kühlern.....	48
	3.3.1.2	Kühlerbauarten	49
	3.3.1.3	Lüfter und Lüfterantriebe	50
	3.3.1.4	Kühlmodule	50
	3.3.1.5	Gesamtsystem Motorkühlung.....	50
	3.3.2	Beheizen und Kühlen des Fahrgastraumes.....	51
	3.3.2.1	Die Funktion Heizen und ihre Komponenten.....	52
	3.3.2.2	Die Funktion der Kälteanlage und ihre Komponenten.....	53
	3.3.2.3	Verdichter und Regelung der Kälteleistung	55
	3.3.2.4	Auslegung der Klimaanlage	55
	3.3.2.5	Kraftstoffmehrverbrauch durch die Klimaanlage.....	56
	3.3.3	Komponenten und Systeme zur Heizung und Kühlung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen	57
	3.3.3.1	Einführung.....	57
	3.3.3.2	Microhybride	57
	3.3.3.3	Milde Hybride und Batteriekühlung.....	58
	3.3.3.4	Vollhybride.....	59
	3.3.3.5	Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge	60
3.4		Akustik und Schwingungen.....	62
	3.4.1	Einleitung	62
	3.4.2	Fahrgeräusche.....	63
	3.4.3	Antriebsgeräusch.....	64
	3.4.3.1	Luftschaall.....	65
	3.4.3.2	Körperschaall.....	67
	3.4.4	Rollgeräusch	69
	3.4.5	Windgeräusch	70
	3.4.6	Mechatronische Geräusche.....	72
	3.4.6.1	Stellmotoren.....	73
	3.4.6.2	Fahrzeugklimatisierung	73
	3.4.6.3	Lüfter und Gebläse	74

3.4.6.4	Lenkungssystem	74
3.4.6.5	Fahrwerksregelung	74
3.4.6.6	Biegeschlaffe Leitungen	75
3.4.7	Klappern, Knarzen, Quietschen	75
3.4.8	Außengeräusch	76
3.4.8.1	Standgeräusch	76
3.4.8.2	Fahrgeräusche	76
3.4.8.3	Vorbeifahrt nach ISO 362	76
3.4.8.4	Reifen/Fahrbahngeräusch	78
3.4.9	Schwingungskomfort	79
3.4.9.1	Motorerrregte Schwingungen	79
3.4.9.2	Fahrbahnerregte Schwingungen	80
3.4.9.3	Raderregte Schwingungen	81
3.4.10	Akustik und Schwingungen beim Elektrischen Fahren	81
3.4.11	Prozess Akustikentwicklung	82
4	Formen und neue Konzepte	84
4.1	Design	84
4.1.1	Die Bedeutung von Design	84
4.1.2	Designziele	84
4.1.3	Der Designprozess	84
4.1.4	Der kreative Prozess	85
4.1.5	Der virtuelle Designprozess	87
4.1.6	Modellphase	87
4.1.7	Color, Trim und Individualisierung	88
4.1.8	Designaktivitäten in der Produktionsvorbereitung	88
4.1.9	Entscheidungen	89
4.1.10	Designstudien und Advanced Design	89
4.1.11	Sinnliche Wahrnehmung im Design	89
4.2	Fahrzeugkonzept und Package	92
4.2.1	Einführung und Definition	92
4.2.2	Gestaltung von Fahrzeugkonzepten	93
4.2.2.1	Außenabmessungen und Fahrzeugklassen	94
4.2.2.2	Aufbauausprägungen und Konzeptsegmente	94
4.2.2.3	Fahrzeuggrundformen	95
4.2.2.4	Sitzigkeit, Gepäckraum und Innenraumvariabilität	96
4.2.2.5	Wesentliche Innenraumabmessungen	96
4.2.2.6	Aggregate- und Antriebsstrangkongzepte	97
4.2.2.7	Hybridkonzepte	100
4.2.2.8	Fahrzeuggewicht	101
4.2.3	Einflussfaktoren und Gestaltungsfelder des <i>Package</i>	101
4.2.3.1	Gesetze und Vorschriften	101
4.2.3.2	Innenraummaßkonzeption	101
4.2.3.3	Konzeptbeeinflussende Maßketten	102
4.2.3.3.1	Die Fahrzeuglänge definierende Maßketten	103
4.2.3.3.2	Die Fahrzeughöhe definierende Maßketten	104
4.2.3.3.3	Die Fahrzeugbreite definierende Maßketten	104
4.2.3.4	Ausgewählte Aspekte des <i>Package</i>	105
4.2.3.4.1	Karosseriestruktur	105
4.2.3.4.2	Motorraum	105
4.2.3.4.3	Unterboden	105
4.2.3.4.4	Tank, Leitungen und Reserverad	106
4.2.3.5	Anforderungen aus Produktion und Kundendienst	106
4.2.3.5.1	Produktion und Modularisierung	106
4.2.3.5.2	Kundendienst	106
4.2.3.6	Einfluss von Plattform und Baukästen	106
4.2.4	Beispiele ausgewählter Fahrzeugkonzepte in unterschiedlichen Klassen	107
4.2.4.1	Beispiele nach Fahrzeuggrößenklasse	107

4.2.4.2	Beispiele nach Fahrzeugausprägung	109
4.2.5	Konzeption und Packageprozess in der industriellen Praxis	110
4.2.6	Entwicklung der Fahrzeugkonzepte	110
4.3	Neuartige Antriebe.....	111
4.3.1	Elektroantriebe	111
4.3.1.1	Antriebssystem für Elektrofahrzeuge	112
4.3.1.2	Elektromotoren für Elektrofahrzeuge.....	113
4.3.1.3	Umrichter.....	115
4.3.1.4	Traktionsbatterien.....	116
4.3.1.5	Superkondensatoren.....	118
4.3.1.6	Ladegeräte	118
4.3.1.7	Ausblick.....	118
4.3.2	Brennstoffzellenantriebssysteme	119
4.3.2.1	Antriebsarchitektur mit PEM-Brennstoffzellen.....	120
4.3.2.1.1	Brennstoffzellen-Stack	121
4.3.2.1.2	Stack-Peripherie	124
4.3.2.1.3	Mobile Wasserstoffspeicher	125
4.3.2.1.4	Hybridisierter Brennstoffzellenantrieb.....	125
4.3.2.2	Sicherheit.....	126
4.3.2.3	Rechtsvorschriften und Standards	127
4.3.2.4	Brennstoffzellen-Fahrzeuge.....	127
4.3.2.4.1	Brennstoffzellen – Pkw und – Transporter	128
4.3.2.4.2	Brennstoffzellen-Busse	129
4.3.2.4.3	Demonstrationen und Flottenversuche.....	130
4.3.2.5	Kraftstoffversorgung und Infrastruktur	131
4.3.2.6	Ausblick.....	131
4.3.3	Hybridantrieb.....	133
4.3.3.1	Szenario	133
4.3.3.2	Konzepte und Betriebsstrategien	133
4.3.3.3	Plug-In Hybride	140
4.3.3.4	Hybrid Sportwagen.....	142
4.3.3.5	Antriebskomponenten aus Hybridsicht	143
4.3.3.6	Fahrzeugintegration.....	145
4.3.4	Stirlingmotor, Dampfmotor, Gasturbine und Schwungrad	146
4.3.4.1	Stirlingmotor.....	146
4.3.4.2	Dampfmotor.....	148
4.3.4.3	Gasturbine.....	149
4.3.4.4	Schwungrad	150
4.3.5	Der Wasserstoff-Verbrennungsmotor.....	153
4.3.5.1	Konstruktive Merkmale.....	153
4.3.5.2	H ₂ -Brennverfahren mit äußerer Gemischbildung	154
4.3.5.3	H ₂ -Brennverfahren mit innerer Gemischbildung.....	155
4.3.5.4	Wirkungsgradpotenziale.....	155
4.3.5.5	H ₂ -Ottomotor als Fahrzeugantrieb.....	156
5	Antriebe	158
5.1	Grundlagen der Motorentechnik.....	158
5.1.1	Prozess des Verbrennungsmotors	158
5.1.1.1	Viertakt-Verfahren.....	158
5.1.1.2	Zweitakt-Verfahren	159
5.1.2	Definitionen und Kenngrößen	159
5.1.2.1	Leistungskenngrößen.....	159
5.1.2.2	Spezifische Motorkenngrößen.....	160
5.1.2.3	Wirkungsgrade.....	160
5.1.3	Bauarten.....	162
5.1.3.1	Hubkolbenmotoren	162
5.1.3.1.1	Bauformen.....	162

	5.1.3.1.2	Kinematik des Kurbeltriebs.....	164
	5.1.3.1.3	Kräfte und Momente im Triebwerk	164
	5.1.3.2	Rotationskolbenmotoren.....	168
5.1.4		Konstruktion und Motormechnik.....	169
	5.1.4.1	Kurbelgehäuse	169
	5.1.4.2	Kurbelwelle	170
	5.1.4.3	Pleuel	171
	5.1.4.4	Kolben	171
	5.1.4.5	Zylinderkopf.....	171
	5.1.4.6	Ventiltrieb und Steuertrieb	172
	5.1.4.6.1	Hauptbauteile des Ventiltriebs	172
	5.1.4.6.2	Bauformen des Ventiltriebs.....	173
	5.1.4.6.3	Variable Ventilsteuerung.....	176
	5.1.4.7	Motorkühlung	179
	5.1.4.8	Motorschmierng.....	181
	5.1.4.9	Saugrohr.....	183
	5.1.4.10	Nebenaggregate und Package.....	183
5.1.5		Ottomotoren.....	186
	5.1.5.1	Ladungswechsel.....	187
	5.1.5.1.1	Ansaugsystem.....	187
	5.1.5.1.2	Abgassystem.....	188
	5.1.5.1.3	Ventilsteuerzeiten.....	189
	5.1.5.1.4	Variable Ventilsteuerung.....	189
	5.1.5.2	Gemischbildung.....	191
	5.1.5.2.1	Homogene Gemischbildung	192
	5.1.5.2.2	Benzin-Direkteinspritzung	193
	5.1.5.2.3	Abgasrückführung.....	199
	5.1.5.2.4	Ladungsbewegung.....	200
	5.1.5.3	Zündung.....	201
	5.1.5.4	Downsizing und Aufladung.....	204
	5.1.5.4.1	Betriebspunktverlagerung	205
	5.1.5.4.2	Variable Verdichtung	206
	5.1.5.5	Verbrennung.....	207
	5.1.5.6	Abgasreinigung.....	209
	5.1.5.6.1	Drei-Wege-Katalysator	209
	5.1.5.6.2	DeNO _x -Katalysator.....	212
	5.1.5.7	Motormanagement.....	215
	5.1.5.7.1	Motorsteuerung	215
	5.1.5.7.2	Betriebsstrategie und Motormanagement bei Benzin-Direkteinspritzung	217
5.2		Dieselmotor.....	219
	5.2.1	Definitionen	219
	5.2.2	Historie des Dieselmotors.....	220
	5.2.3	Motortechnische Grundlagen	221
	5.2.3.1	Einleitung	221
	5.2.3.2	Vergleich motorischer Verbrennungsverfahren	222
	5.2.3.3	Die Thermodynamik des Dieselmotors	223
5.2.4		Die dieselmotorische Verbrennung	224
	5.2.4.1	Allgemeines	224
	5.2.4.2	Einspritzung und Gemischbildung	224
	5.2.4.3	Selbstzündung und Zündverzug	226
	5.2.4.4	Verbrennung und Brennverlauf.....	227
	5.2.4.5	Abgasemissionen	227
5.2.5		Die dieselmotorischen Verbrennungsverfahren	230
	5.2.5.1	Ausführungsformen	231
	5.2.5.2	Vorkammerverfahren.....	231
	5.2.5.3	Wirbelkammerverfahren.....	231
	5.2.5.4	Direkte Einspritzung.....	232

	5.2.5.5	Qualitative Bewertung von Verbrennungsverfahren	233
	5.2.5.6	Simulation der dieselmotorischen Verbrennung	234
5.2.6		Konstruktive und funktionale Merkmale des Dieselmotors	235
	5.2.6.1	Zylinderkopf und Zylinderkurbelgehäuse	235
	5.2.6.2	Einspritzsysteme	236
	5.2.6.3	Aufladung	242
	5.2.6.4	Abgasrückführung	243
	5.2.6.5	Luftmanagement	244
	5.2.6.6	Brennverfahren	244
	5.2.6.7	Downsizing und Downsizing	244
5.2.7		Abgasnachbehandlung	245
	5.2.7.1	Oxidationskatalysator	245
	5.2.7.2	Dieselpartikelfilter	246
	5.2.7.3	Entstickung	249
5.2.8		Dieselmotorkraftstoffe	252
5.2.9		Regelung	255
5.2.10		Die Zukunft des Dieselmotors	256
5.3		Aufladung	264
	5.3.1	Hintergrund	264
	5.3.2	Aufladeprinzip	265
	5.3.3	Konstruktiver Aufbau	268
	5.3.4	Kopplung von Motor und Verdichter	269
	5.3.5	Regelung	270
	5.3.6	Motorkomponenten im unmittelbaren Zusammenhang zur Aufladung	272
	5.3.7	Sonstige Regelungssysteme	273
	5.3.8	Downsizing und Aufladung: Potenziale, Grenzen, Auswirkungen	274
	5.3.9	Methoden in der Entwicklung	275
	5.3.10	Ausblick	276
5.4		Triebstrang	277
	5.4.1	Überblick	277
	5.4.1.1	Einleitung	277
	5.4.1.2	Aufgaben des Getriebes	277
	5.4.1.3	Aufbau und Elemente des Triebstrangs	279
	5.4.1.4	Achsantrieb	279
	5.4.1.5	Differenzialgetriebe	279
	5.4.1.6	Allrad-Verteilergetriebe	280
	5.4.1.7	Gelenkwellen	280
	5.4.1.8	Schwingungssystem	280
	5.4.2	Anfahrelemente	281
	5.4.2.1	Kupplungen	281
	5.4.2.2	Hydrodynamische Drehmomentwandler	284
	5.4.3	Das Handschaltgetriebe-System	287
	5.4.3.1	Funktion und Aufbau	287
	5.4.3.2	Verzahnung	287
	5.4.3.3	Synchronisierung	288
	5.4.3.4	Weitere Getriebekomponenten	289
	5.4.3.5	Getriebebeschaltung	289
	5.4.3.6	Ausführungsbeispiele	289
	5.4.3.7	Automatisierte Schaltgetriebe	290
	5.4.4	Stufenautomatgetriebe	291
	5.4.4.1	Funktionsweise	291
	5.4.4.2	Aufbau	292
	5.4.4.3	Baugruppen	292
	5.4.4.4	Betätigung	296
	5.4.4.5	Betriebsverhalten	296
	5.4.4.6	Ausführungsbeispiele	298
	5.4.5	Stufenlose Getriebe	299
	5.4.5.1	Funktionsweise	299

	5.4.5.2	Aufbau	300
	5.4.5.3	Baugruppen.....	301
	5.4.5.4	Betätigung.....	302
	5.4.5.5	Betriebsverhalten.....	302
	5.4.5.6	Ausführungsbeispiele	303
5.4.6		Doppelkupplungsgetriebe.....	304
	5.4.6.1	Funktionen und Bauteile.....	305
	5.4.6.2	Radsatzsynthese.....	306
5.4.7		Hybridantriebe	307
	5.4.7.1	Hybridsysteme.....	307
	5.4.7.2	Mikrohybrid.....	308
	5.4.7.3	Mildhybrid und Vollhybrid	308
	5.4.7.4	Verbrauchseinsparung	308
5.4.8		Elektronische Getriebesteuerung.....	309
	5.4.8.1	Gesamtsystem.....	310
	5.4.8.2	Steuergerät.....	311
	5.4.8.3	Bauteile.....	312
	5.4.8.4	Funktionen.....	313
5.4.9		Ausblick.....	315
5.5		Allradantriebe, Brems- und Antriebsregelungen.....	316
	5.5.1	Allradantriebs-Konzepte.....	316
	5.5.1.1	Verwendung von Allradantrieben	316
	5.5.1.2	Kennlinien von Allradantrieben	317
	5.5.1.3	Systematik der Antriebe	317
	5.5.1.4	Systemkomponenten.....	318
	5.5.1.5	Getriebeabtriebe.....	327
	5.5.1.6	Systemauswahl	329
	5.5.1.7	Einfluss auf Crashverhalten.....	329
	5.5.1.8	Geräusch- und Schwingungstechnik Noise-Vibration-Harshness (NVH).....	329
	5.5.1.9	Dimensionierung	330
	5.5.1.10	Allradantrieb und Regelsysteme.....	330
5.5.2		Antriebs- und Bremsregelung.....	330
	5.5.2.1	Unfallvorbeugende Sicherheit	330
	5.5.2.2	Traktionssysteme	331
	5.5.2.3	Stabilitätssysteme	331
	5.5.2.3.1	Passive Systeme ASC, ASR.....	331
	5.5.2.3.2	Aktive Systeme, DSC, ESP.....	332
	5.5.2.3.3	Elektronisches Bremsen Management EBM.....	333
	5.5.2.3.4	EBMx für Allradfahrzeuge.....	334
	5.5.2.3.5	Weiterentwicklung	335
	5.5.2.4	DSC, ESP mit Fremdkraft-Bremsanlage	336
	5.5.2.5	Bremssysteme für Fahrzeuge mit Hybridantrieb.....	336
	5.5.2.6	Sensorik	336
	5.5.2.6.1	Raddrehzahlfühler	337
	5.5.2.6.2	Fahrdynamiksensorik	337
5.6		Abgasanlagen.....	338
	5.6.1	Aufgaben der Abgasanlage.....	338
	5.6.2	Katalysatoren	339
	5.6.3	Partikelfilter.....	340
	5.6.4	Canning und Monolith-Lagerung	341
	5.6.5	Schalldämpfer.....	343
	5.6.6	Akustische Abstimmung.....	343
	5.6.7	Körperschall	344
5.7		Bordenergie-Management.....	345
	5.7.1	Ausgangssituation.....	345
	5.7.2	Der Klauenpolgenerator im Energiebordnetz.....	346
	5.7.2.1	Leistungs- und Wirkungsgradverhalten.....	346

	5.7.2.2	Überspannungsschutz	347
	5.7.2.3	Generator mit Schnittstellenregler	347
5.7.3		Elektrische Speicher im Energiebordnetz	348
	5.7.3.1	Blei-Säure Batterien	348
	5.7.3.2	Traktionsspeicher	349
5.7.4		Energiebordnetze für konventionelle Fahrzeuge	350
	5.7.4.1	Energiebordnetze für Start/Stopp Fahrzeuge	350
	5.7.4.2	Zwei-Batterie-Bordnetze	351
	5.7.4.3	Elektrisches Energiemanagement EEM in konventionellen Fahrzeugen	351
	5.7.4.3.1	Ruhestrommanagement	352
	5.7.4.3.2	Fahrbetrieb/Dynamisches Energiemanagement	353
	5.7.4.3.3	Diagnose und Anzeige	353
	5.7.4.3.4	Zusatzfunktionen	353
	5.7.4.3.5	Batteriezustandserkennung/Batteriemanagement	354
	5.7.4.3.6	Batteriesensor EBS	354
	5.7.5	Energiebordnetze für Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang	355
5.8		Chancen und Risiken des Zweitaktmotors	356
	5.8.1	Das Zweitaktverfahren	356
	5.8.2	Das verwendete Konzept	356
	5.8.3	Die Entwicklungsschwerpunkte	357
	5.8.3.1	Abgasverhalten	357
	5.8.3.2	Geräuschverhalten	358
	5.8.3.3	Kraftstoffverbrauch	358
	5.8.3.4	Mechanische Standfestigkeit	359
	5.8.3.5	Package/Gewicht	359
	5.8.3.6	Kosten	360
	5.8.4	Zusammenfassung und Bewertung	361
5.9		Konventionelle und alternative Kraftstoffe und Energieträger	361
	5.9.1	Marktwirtschaftliche Aspekte	364
	5.9.2	Energieversorgungssicherheit	365
	5.9.3	Fossile Energiequellen	366
	5.9.4	Regenerative Energiequellen	367
	5.9.5	Zusammenfassung	372
	5.9.6	Kraftstoffsteckbriefe	372
6		Aufbau	379
6.1		Karosseriebauweisen	379
6.1.1		Selbsttragende Karosserie	379
	6.1.1.1	Entwicklungsanforderungen	379
	6.1.1.2	Außenhaut	379
	6.1.1.2.1	Design	379
	6.1.1.2.2	Aerodynamik und Aeroakustik	380
	6.1.1.3	Package	381
	6.1.1.4	Karosseriestruktur	382
	6.1.1.4.1	Unterbau	382
	6.1.1.4.2	Aufbau	384
	6.1.1.4.3	Zusammenbau Seitenwand	385
	6.1.1.4.4	Dach	385
	6.1.1.4.5	Anbauteile	385
	6.1.1.4.6	Verbindungstechnik	386
	6.1.1.4.7	Materialauswahl und Leichtbau	386
	6.1.1.4.8	Sicken und Verprägungen	388
	6.1.1.5	Karosserieeigenschaften	388
	6.1.1.5.1	Zusammenbautoleranzen	388
	6.1.1.5.2	Karosseriesteifigkeiten	389
	6.1.1.5.3	Aufprallverhalten	390
	6.1.1.6	Ausblick	390

6.1.2	Space-Frame	390
6.1.2.1	Einleitung	390
6.1.2.2	AUDI-Space-Frame.....	391
6.1.2.3	Das Karosseriekonzept des ASF®	392
6.1.2.4	Der Aufbau der ASF Karosserie A8 (D3)	393
6.1.2.4.1	Fortschritte in der ASF Architektur nach sechzehn Jahren Produktionserfahrung	394
6.1.2.5	Werkstoffe und Fertigungstechnologien	394
6.1.2.5.1	Blechteile und Verfahren	394
6.1.2.5.2	Strangpressprofile und Verfahren	395
6.1.2.5.3	Gussteile und Verfahren.....	396
6.1.2.6	Fügeverfahren	396
6.1.2.6.1	MIG-Schweißen mit Impulslichtbogen.....	397
6.1.2.6.2	Stanznieten mit Halbhohniet	397
6.1.2.6.3	Vollstanznieten	397
6.1.2.6.4	Automatisiertes Direktverschrauben (FDS – Flow Drill Screws).....	397
6.1.2.6.5	Laserstrahl-Schweißen	398
6.1.2.6.6	Laserstrahl-MIG-Hybridschweißen	398
6.1.2.6.7	Rollfalzen + Kleben	398
6.1.2.7	Reparaturkonzept.....	398
6.1.2.8	Energiebilanz	399
6.1.3	Karosserie Stahlleichtbau-Studien.....	400
6.1.3.1	Einleitung	400
6.1.3.2	Zielsetzung.....	401
6.1.3.3	Umsetzung.....	401
6.1.3.3.1	Werkstoffleichtbau	402
6.1.3.4	Fertigungsleichtbau	403
6.1.3.4.1	Innenhochdruckumformung (IHU)	403
6.1.3.4.2	Laserschweißen	403
6.1.3.4.3	Tailored blanks/Tailored tubes	404
6.1.3.4.4	Formleichtbau.....	404
6.1.3.5	Wirtschaftlichkeit	405
6.1.3.6	Ergebnis	405
6.1.4	Cabriolet	406
6.1.4.1	Einführung.....	406
6.1.4.2	Rohbau.....	407
6.1.4.2.1	Karosseriesteifigkeit.....	407
6.1.4.2.2	Karosserietilger	408
6.1.4.2.3	Betriebsfeste Auslegung von Cabrioletkarosserien.....	408
6.1.4.3	Sicherheitsrelevante Auslegung von Cabriolets	408
6.1.4.4	Aeroakustik.....	409
6.1.4.5	Türen.....	409
6.1.4.6	Dachsystem.....	410
6.1.4.6.1	Faltbares Festdach (Retractable Hardtop)	411
6.1.4.5.2	Stoffverdeck (Softtop).....	411
6.1.5	Frontendmodule.....	413
6.1.5.1	Bestandteile von Frontendmodulen	413
6.1.5.2	Entwicklungs- und Fertigungskompetenz für Frontendmodule	414
6.1.5.3	Innovationen für Frontendmodule	414
6.2	Materialien der Karosserie	415
6.2.1	Historischer Rückblick	415
6.2.2	Konzepte und Bauweisen	416
6.2.3	Anforderungen und Auslegungskriterien an die Werkstoffe der Karosserie	417
6.2.4	Typische Karosseriewerkstoffe	420
6.2.4.1	Stahlwerkstoffe	420
6.2.4.2	Aluminiumlegierungen	422
6.2.4.3	Magnesiumlegierungen	423

6.2.4.4	Kunststoffe.....	423
6.2.4.4.1	Thermoplaste.....	424
6.2.4.4.2	Duroplaste.....	425
6.2.5	Sortenreine Beispiele.....	425
6.2.5.1	Stahl Seitenrahmen.....	425
6.2.5.2	Aluminium Seitentür.....	426
6.2.5.3	Magnesium Instrumententafelträger.....	426
6.2.5.4	Hardtop als Sandwichkonstruktion.....	426
6.2.6	Mischbauweisen.....	426
6.2.6.1	Mischbau in der Karosserie.....	426
6.2.6.2	Mischbau im Innenraum (Cockpit) und Frontendmodule.....	428
6.2.7	Materialspezifische Aspekte der Fertigungstechnik.....	430
6.2.7.1	Tailored products.....	430
6.2.7.2	Superplastisches Umformen (SPF).....	431
6.2.7.3	Innenhochdruckumformen (IHU).....	431
6.2.7.4	Folientechnik als Alternative zur Nasslackierung.....	432
6.2.7.5	Fügeverfahren.....	434
6.3	Oberflächenschutz.....	434
6.3.1	Nutzen des Oberflächenschutzes.....	434
6.3.1.1	Korrosionsschutz.....	434
6.3.1.2	Oberflächenschutz.....	436
6.3.2	Entwicklung und Produktion des Oberflächenschutzes.....	436
6.3.2.1	Blechvorbeschichtung.....	436
6.3.2.2	Maßnahmen in der Karosseriekonstruktion.....	436
6.3.2.3	Maßnahmen in der Produktion.....	437
6.3.2.3.1	Kleben und Dichten.....	437
6.3.2.3.2	Vorbehandlung.....	439
6.3.2.3.3	Elektrotauchlackierung.....	441
6.3.2.3.4	Grund- und Decklackierung.....	441
6.3.2.4	Hohlraumkonservierung und Unterbodenschutz.....	443
6.3.2.4.1	Hohlraumkonservierung.....	443
6.3.2.4.2	Unterbodenschutz.....	443
6.3.2.5	Transportschutz.....	444
6.3.3	Ausblick.....	444
6.4	Fahrzeuginnenraum.....	445
6.4.1	Ergonomie und Komfort.....	445
6.4.1.1	Ergonomische Anforderungen an das „Gesamtfahrzeug“.....	446
6.4.1.2	Ergonomische Grundaussagen.....	448
6.4.1.3	Entwicklungsmethoden, Einbindung der Ergonomie in den Produktentstehungsprozess.....	452
6.4.1.4	Neue Entwicklungen zur Mensch-Maschine-Interaktion.....	454
6.4.2	Kommunikationssysteme und Navigation.....	456
6.4.2.1	Ziele und Lösungen.....	456
6.4.2.2	Rundfunkempfang.....	456
6.4.2.2.1	Analoger Rundfunkempfänger.....	456
6.4.2.2.2	RDS (Radio Data System).....	458
6.4.2.2.3	TMC.....	458
6.4.2.3	Digitaler Rundfunkempfang.....	458
6.4.2.3.1	DAB.....	458
6.4.2.3.2	DRM (Digital Radio Mondiale).....	459
6.4.2.3.3	Satellitenradio.....	459
6.4.2.4	Mobilfunk im Kfz.....	459
6.4.2.4.1	UMTS.....	460
6.4.2.4.2	Handys im Fahrzeug.....	460
6.4.2.4.3	Internet Dienste im Fahrzeug.....	460
6.4.2.5	Bakenkommunikation.....	460
6.4.2.6	Fahrzeug-Fahrzeug und Fahrzeug Infrastruktur Kommunikation.....	461
6.4.2.7	Navigation.....	461

6.4.2.8	Digitale Karte	462
6.4.2.8.1	Dynamische Navigation	462
6.4.2.8.2	Fahrerinformationssysteme	463
6.4.3	Innenraumbehaglichkeit/Thermischer Komfort	464
6.4.3.1	Komfortbedürfnisse der Fahrzeuginsassen.....	464
6.4.3.2	Funktionen und Aufbau von Klimageräten	465
6.4.3.2.1	Funktionen des Klimagerätes – Luft fördern	466
6.4.3.2.2	Funktionen des Klimagerätes – Luft reinigen	467
6.4.3.2.3	Funktionen des Klimagerätes – Luft temperieren und entfeuchten ..	468
6.4.3.2.4	Funktionen des Klimagerätes – Luft verteilen	469
6.4.3.2.5	Bauformen von Klimageräten	469
6.4.3.2.6	Mehrzonigkeit und Zusatzgeräte	470
6.4.3.3	Steuerung und Regelung von Klimaanlage	470
6.4.3.3.1	Regelung und Automatisierungsgrade	470
6.4.3.3.2	Bedienung.....	471
6.4.3.3.3	Aktuatorik, Sensorik.....	472
6.4.4	Fahrzeuginnenausstattung	472
6.4.4.1	Zur Geschichte des Innenraums	472
6.4.4.2	Anforderungen an Innenraum und Komponenten	473
6.4.4.2.1	Optik.....	473
6.4.4.2.2	Olfaktorik	473
6.4.4.2.3	Ergonomie	474
6.4.4.2.4	Haptik	474
6.4.4.2.5	Akustik	474
6.4.4.2.6	Sicherheit.....	474
6.4.4.2.7	Thermischer Komfort	475
6.4.4.3	Baugruppen des Innenraums	475
6.4.4.3.1	Cockpit/Tunnelkonsole	475
6.4.4.3.2	Sitze.....	476
6.4.4.3.3	Tür-, Seitenverkleidungen.....	477
6.4.4.3.4	Dachhimmel, Säulenverkleidung	478
6.4.4.3.5	Gepäckraum/Laderaum	478
6.4.4.3.6	Bodenverkleidung, Akustik.....	479
6.4.4.4	Entwicklungsablauf Innenraum.....	479
6.4.4.4.1	Lastenheft	479
6.4.4.4.2	Berechnung/Digital Mockup	479
6.4.4.4.3	Teilekonstruktion	480
6.4.4.4.4	Datenkontrollmodelle.....	480
6.4.4.4.5	Prototypen/Testing	481
6.4.4.4.6	Serienproduktion/Montage.....	481
6.4.4.4.7	Variantenmanagement.....	481
6.4.4.5	Ausblick.....	481
6.5	Wischer- und Wascheranlagen	482
7	Fahrwerk	484
7.1	Einführung	484
7.1.1	Definition des Begriffs Fahrwerk	484
7.1.2	Aufgaben des Fahrwerks	484
7.1.3	Fahrdynamik und Fahrwerkskräfte.....	485
7.1.3.1	Querdynamik: Fahrwerkskräfte in Querrichtung	486
7.1.3.1.1	Lenken der Räder	486
7.1.3.1.2	Querverschiebung des Radaufstandspunktes	487
7.1.3.1.3	Stabilisieren des Fahrzeugs auf einer vorgegebenen Bahn	488
7.1.3.2	Längsdynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeuglängsrichtung	488
7.1.3.3	Vertikaldynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeughochrichtung.....	489
7.1.4	Basis-Zielkonflikte	490
7.1.5	Ausblick.....	492

7.2	Bremssysteme	492
7.2.1	Einführung	492
7.2.2	Auslegung von Bremssystemen.....	493
7.2.2.1	Physikalische Grundlagen	493
7.2.2.2	Bremskraftverteilung	495
7.2.2.3	Bremspedalcharakteristik	495
7.2.2.4	Thermische Dimensionierung.....	496
7.2.2.5	Auslegungsaspekte bei regenerativen Bremssystemen	498
7.2.3	Bremssystemkomponenten.....	499
7.2.3.1	Bremspedal	499
7.2.3.2	Bremskraftverstärker	499
7.2.3.3	Vakuumpumpe.....	500
7.2.3.4	(Tandem)-Hauptzylinder	501
7.2.3.5	Ausgleichbehälter	501
7.2.3.6	Bremsflüssigkeit	502
7.2.3.7	Bremsleitungen und -schläuche.....	502
7.2.3.8	Bremskraftverteiler.....	502
7.2.3.9	Hydraulisch/Elektronische Regeleinheit (HECU).....	503
7.2.3.10	Scheibenbremsen	505
7.2.3.11	Bremsscheiben.....	508
7.2.3.12	Brembeläge	510
7.2.3.13	Trommelbremsen.....	510
7.2.4	Sensoren	512
7.2.4.1	Betätigungswegsensor	512
7.2.4.2	Raddrehzahlsensor.....	512
7.2.4.3	Beschleunigungssensor (längs und quer)	513
7.2.4.4	Gierratensensor	514
7.2.4.5	Lenkradwinkelsensor.....	514
7.2.4.6	Drucksensor	514
7.2.4.7	Abstandssensoren	515
7.2.5	Bremsenfunktionen und Assistenzsysteme	515
7.2.5.1	Antiblockiersystem (ABS)	516
7.2.5.2	Elektronische Bremskraftverteilung (EBV)	520
7.2.5.3	Erweitertes Stabilitäts-Bremssystem (ABS-plus).....	520
7.2.5.4	Antriebsschlupfregelung (ASR)	520
7.2.5.5	Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP/DSC/VSC).....	521
7.2.5.6	Bremsassistent (MBA, EBA, HBA)	522
7.2.5.7	Bremskraftverstärkerunterstützung	523
7.2.5.8	Active Rollover Protection (ARP).....	524
7.2.5.9	Abstandsregelsysteme	524
7.2.5.10	Elektrische Feststellbremse (Parkbremse) EPB	524
7.2.6	Neue und zukünftige Systemarchitekturen	526
7.2.6.1	Elektrohydraulisches Bremssystem (EHB)	526
7.2.6.2	Regeneratives Bremsen	527
7.2.6.3	Elektrisch-Hydraulische Combi Bremse (EHCB).....	528
7.2.6.4	Vernetztes Chassis	529
7.2.6.5	Elektromechanisches Bremssystem (EMB)	531
7.2.6.6	Ausblick.....	532
7.3	Reifen, Räder, Gleitschutzketten	533
7.3.1	Einführung	533
7.3.2	Reifenaufbau.....	534
7.3.3	Anforderungen an Reifen	534
7.3.3.1	Gebrauchseigenschaften	535
7.3.3.2	Gesetzliche Anforderungen	537
7.3.3.3	Reifen und Räder, Normung.....	538
7.3.3.4	Reifenkennzeichnung, EU-Label.....	538
7.3.4	Kraftübertragung Reifen Fahrbahn.....	539
7.3.4.1	Tragverhalten.....	539

7.3.4.2	Kraftschlussverhalten, Aufbau von Horizontalkräften	540
7.3.4.3	Antreiben und Bremsen; Umfangskräfte	541
7.3.4.4	Schräglauf; Kräfte und Momente	542
7.3.4.5	Reifen unter Quer- und Längsschlupf	544
7.3.4.6	Reifengleichförmigkeit	544
7.3.5	Reifen als integraler Baustein des Gesamtsystems Fahrzeug	545
7.3.5.1	Reifenmechanik, Materialeigenschaften	545
7.3.5.2	Reifenmodelle	547
7.3.5.3	Gesamtmodelle	547
7.3.5.4	Beschreibung des Fahrverhaltens	547
7.3.5.5	Synergien zwischen Reifen und anderen Systemkomponenten	547
7.3.5.6	Reifensysteme mit Notlaufeigenschaften	548
7.3.6	Zukünftige Reifentechnologien	548
7.3.6.1	Reifenbezogene Zusatzprodukte	549
7.3.6.2	Reifendruckkontrolle	549
7.3.6.3	Auf Reifen abgestimmte Komponenten im Fahrwerk	549
7.3.6.4	Materialentwicklung	549
7.3.6.5	Reifen mit erweiterten Funktionen	550
7.3.7	Räder	551
7.3.7.1	Einführung/Historie	551
7.3.7.2	Normung/Terminologie	552
7.3.7.3	Wesentliche Herstellverfahren	552
7.3.7.4	Serieneinsatz (Marktanteile heute und in Zukunft)	552
7.3.7.5	Entwicklungs-Methodik	552
7.3.7.5.1	CAD Konstruktion	552
7.3.7.5.2	Finite Elemente Analyse	552
7.3.7.5.3	Prüfstandserprobung	552
7.3.7.5.4	Fahrerprobung im Rahmen der Fahrzeugentwicklung (Dauerläufer)	555
7.3.7.5.5	Entwicklungstendenzen zur Methodik	555
7.3.7.6	Fertigungsverfahren – Weiterentwicklung	555
7.3.7.6.1	Stahlrad	555
7.3.7.6.2	Leichtmetallrad	556
7.3.7.6.3	Kunststoff-Rad (Composite-Rad)	557
7.3.7.7	Gewichtsrelationen	557
7.3.7.8	Größenrelationen	558
7.3.7.9	Rad/Reifen – Besondere Aspekte	558
7.3.7.10	Energiebetrachtung bei Herstellung/Recycling	558
7.3.7.11	Umweltschonung	558
7.3.8	Gleitschutzketten	559
7.3.8.1	Einleitung	559
7.3.8.2	Wirkungsprinzip von Gleitschutzketten	559
7.3.8.3	Aufbau von Gleitschutzketten	559
7.3.8.3.1	Laufnetzformen	559
7.3.8.3.2	Greifelemente	559
7.3.8.3.3	Dimensionierung	560
7.3.8.4	Kraftübertragung Kette – Fahrbahn	560
7.3.8.5	Montagesysteme	561
7.4	Fahrwerksauslegung	562
7.4.1	Kinematik der Radaufhängung	562
7.4.1.1	Radhubkinematik	562
7.4.1.2	Lenkinematik	564
7.4.2	Elastokinematik	565
7.4.2.1	Wirkung von Bauteilelastizitäten	565
7.4.2.2	Elastomerlager	566
7.4.2.3	Wirkung äußerer Kräfte	571
7.4.3	Radaufhängungen	575
7.4.3.1	Starrachsen	576

	7.4.3.2 Einzelradaufhängungen	576
	7.4.3.3 Verbundachsen	579
7.4.4	Federung, Dämpfung, Stabilisatoren	580
	7.4.4.1 Tragfeder	581
	7.4.4.2 Stabilisierung	583
	7.4.4.3 Schwingungsdämpfung	584
	7.4.4.4 Vertikaldynamiksysteme	587
	7.4.4.5 Ausblick	591
7.4.5	Lenkung	592
	7.4.5.1 Lenkungskinetik	593
	7.4.5.2 Lenkgetriebe und -gestänge	601
	7.4.5.3 Lenkunterstützung	603
7.4.6	Aktive Lenksysteme	608
	7.4.6.1 Einleitung	608
	7.4.6.2 Aktive Vorderradlenkungen	609
	7.4.6.2.1 Aktive Servolenkungen	609
	7.4.6.2.2 Lenkungen mit aktiv veränderlicher Übersetzung	609
	7.4.6.2.3 Überlagerungslenkungen	609
	7.4.6.2.4 Integration von Überlagerungslenkung und geregelter Servolenkung	611
	7.4.6.2.5 „Steer by wire“-Lenksysteme	612
	7.4.6.3 Aktive Hinterradlenkungen	613
	7.4.6.3.1 Hinterradlenkungen ohne fahrdynamische Regelung	615
	7.4.6.3.2 Hinterradlenkungen mit fahrdynamischer Regelung	616
	7.4.6.4 Aktive geregelte Vorder- und Hinterachslenksysteme	617
7.5	Beurteilungskriterien	619
	7.5.1 Subjektive Fahreigenschaftsbeurteilung	619
	7.5.2 Objektive Fahreigenschaftsbeurteilung	620
	7.5.2.1 Geradeausfahrt	621
	7.5.2.2 Kurvenverhalten	622
	7.5.2.3 Übergangsverhalten	624
	7.5.2.4 Weitere Testverfahren	625
	7.5.2.5 Ausblick	625
7.6	Kraftstoffsystem	627
	7.6.1 Gesetzliche und kundenspezifische Vorschriften	627
	7.6.1.1 Gesetzliche Vorschriften	627
	7.6.1.2 Kundenspezifische Anforderungen	629
	7.6.2 Anordnung im Fahrzeug	629
	7.6.3 Systemvarianten	630
	7.6.3.1 Externes Ausgleichsvolumen	630
	7.6.3.2 Internes Ausgleichsvolumen	630
	7.6.3.3 Auslegungskriterien	630
	7.6.4 Kraftstoff-Behälter	630
	7.6.4.1 Metall-Kraftstoff-Behälter	631
	7.6.4.2 Kunststoff-Kraftstoff-Behälter	631
	7.6.5 Fördersysteme	632
	7.6.5.1 Förderung des Kraftstoffs	632
	7.6.5.2 Elektro-Kraftstoff-Pumpe (EKP) und deren Anordnung	632
	7.6.5.3 Pumpenanordnungen	633
	7.6.5.4 Anforderungen zur elektrischen/elektronischen Systemeinbindung	633
	7.6.5.5 Elektro-Kraftstoff-Pumpen-Regelung	633
	7.6.5.6 Saugstrahlpumpe	634
	7.6.5.7 Schwalltopf	634
	7.6.6 Filtrierung des Kraftstoffs	634
	7.6.7 Volumen-Messeinrichtung	635
	7.6.7.1 Hebelgeber	635
	7.6.7.2 Tauchrohrgeber	635
	7.6.8 Aktivkohlefilter (AKF)	635