

ATZ/MTZ-Fachbuch



Stefan Pischinger
Ulrich Seiffert Hrsg.

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

8. Auflage

 Springer Vieweg

ATZ/MTZ-Fachbuch

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

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

Stefan Pischinger
Ulrich Seiffert
(Hrsg.)

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

8., aktualisierte und erweiterte Auflage



Springer Vieweg

Herausgeber

Stefan Pischinger
RWTH Aachen University
Aachen, Deutschland

Ulrich Seiffert
WiTech Engineering GmbH
Braunschweig, Deutschland

ATZ/MTZ-Fachbuch
ISBN 978-3-658-09527-7 ISBN 978-3-658-09528-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-09528-4

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 2000, 2001, 2003, 2005, 2007, 2011, 2013, 2016

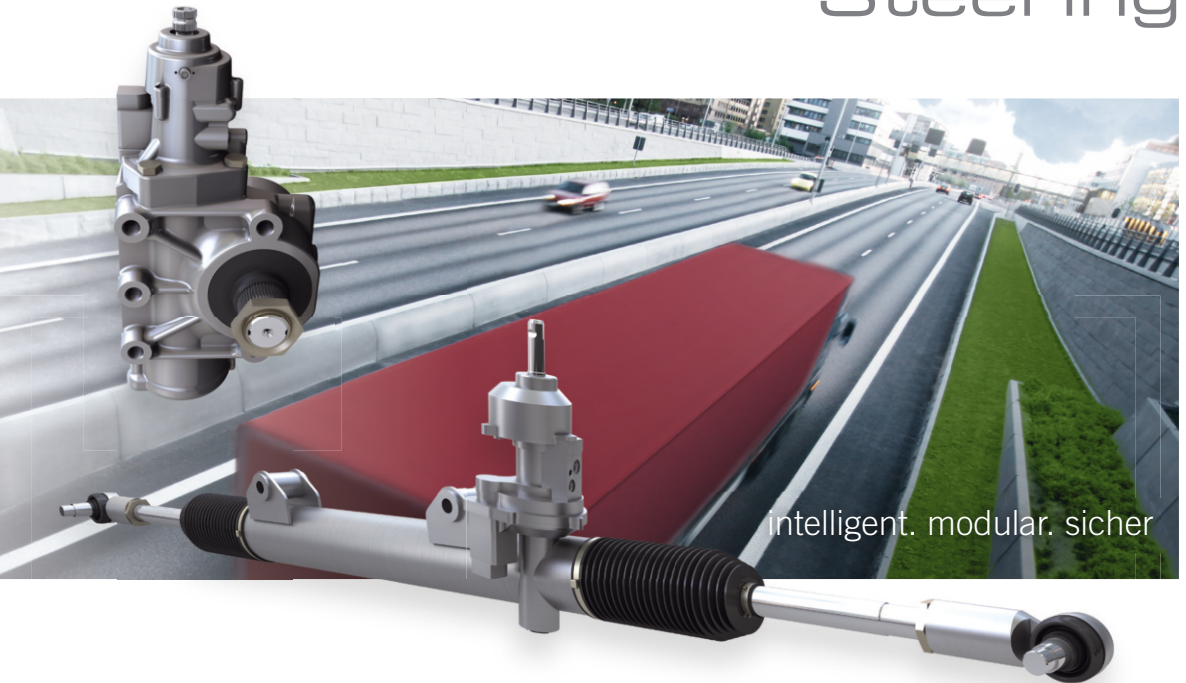
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

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



TEDRIVE iHSA® AKTIVIERT LENKSYSTEME

tedrive Steering hat speziell für den Nutzfahrzeugsektor die preisgekrönte und patentierte iHSA® Technologie (intelligent Hydraulic Steering Assist) weiterentwickelt. Mit dem innovativen iHSA® System lässt sich eine Vielzahl von Fahrerassistenzfunktionen wie aktive Spurhaltung, Seitenwindkompensation, City Mode, Anhängerstabilisierung, Radunwuchtenausgleich und Rangierhilfe via Joystick zuschalten. In tedrive Zahnstangen- und tedrive Kugelumlaufenkungen modular integrierbar, bietet die iHSA® Technologie Nutzfahrzeug- und Bushersteller bei allen hydraulischen Lenksystemen eine hohe Design- und Funktionsflexibilität.

iHSA® – DAS INTELLIGENTE PLUS AN SICHERHEIT FÜR ALLE FAHRZEUGKLASSEN



tedrive Steering | Henry-Ford II-Straße 15 | 42489 Wülfrath, Deutschland
Fon: +49 (0) 2058 905-0 | sales@td-steering.com

www.td-steering.com



Vorwort

Die Neuauflage des Handbuchs Kraftfahrzeugtechnik ist der Nachfolger des über viele Jahrzehnte herausgegebenen Taschenbuches der Professoren Heinrich Buschmann und Paul Koeßler. Dessen Erstausgabe erschien im Jahr 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 aus 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 Wissenschaft und 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. Für die Erstellung der 8. Auflage hat auch ein Herausgeberwechsel stattgefunden. Herr Professor Braess hat seine hervorragende Tätigkeit als Mitherausgeber an Herrn Professor Stefan Pischinger übergeben. Durch die weitere Herausgeberebene von Professor Ulrich Seiffert wurde die Kontinuität dieses Standardwerks gewahrt.

Die Anforderungen an die Automobilindustrie haben sich in den letzten Jahren deutlich erhöht. Ohne eine Wertigkeit vorzunehmen, spiegeln sie sich in den folgenden Schlagworten wieder: Globalisierung, verändertes Mobilitätsverhalten, unterschiedliche Marktanforderungen, veränderte Antriebsenergien und Konzepte, Vernetzung der Infrastruktur mit anderen Verkehrsteilnehmern, Telematik, Infotainment, Sensorik, teil- bis vollautomatisches Fahren, erhöhte Sicherheits- und Umwelanforderungen insbesondere Senkung der Stickoxid- und Kohlendioxidemissionen.

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 Schwerpunkt Voraussetzungen, zu einer großen Vielzahl unterschiedlicher Gesamtkonzepte und Varianten kommt.

Einen großen Umfang nimmt die Erläuterung der Antriebskonzepte ein. Speziell der Elektroantrieb, die Hybridfahrzeuge, Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge werden dargestellt. Auch der 2-Taktmotor und die Gasturbine als Fahrzeugantrieb werden beurteilt.

Einen breiten Raum nimmt das Kapitel der „klassischen“ Antriebe ein. Moderne Hubkolbenmotor-Technik für Otto- und Dieselmotoren prägen neben der Elektromobilität, den Hybridfahrzeugen und den Brennstoffzellenvarianten die absehbare Zukunft. Es wird deutlich, dass auch die Otto- und Dieselmotoren 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. Langfristig von großer Bedeutung sind additive und alternative Kraftfahrstoffe bzw. Antriebsenergien, die im Vergleich behandelt werden. Besonders der neue Fahrzyklus und das Verhalten der Fahrzeuge im Praxisbetrieb bilden den neuen Beurteilungsstatus.

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 bis hin zum teil- und vollautomatisierten Fahren. Damit ist schon angedeutet, dass fast alle Funktionen und Systeme im Fahrzeug elektronische Komponenten beinhalten werden. In dem umfassenden Kapitel Fahrzeugsicherheit werden die unfallvorbeugenden, die unfallmildern Maßnahmen und die integrale Sicherheit dargelegt.

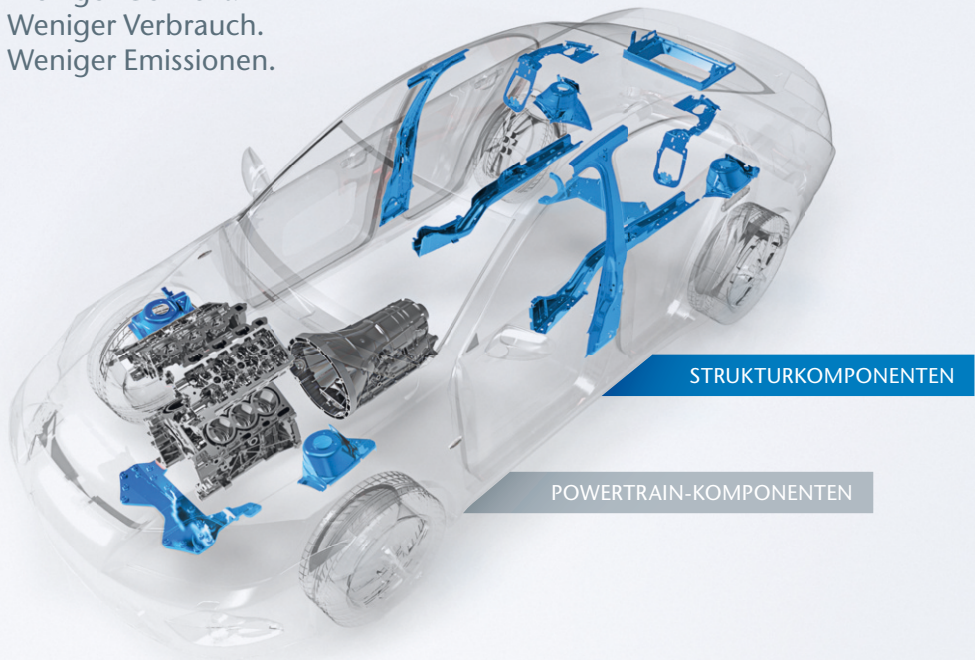
Die steigenden Anforderungen haben in den letzten Jahrzehnten zu deutlichen Erhöhungen der Fahrzeuggewichte geführt. Eine Umkehr dieser Gewichtszunahme findet zurzeit statt. Werkstofftechnik, Fertigungsverfahren und Bauweisen der Zukunft haben deshalb besonders der Forderung nach Leichtbau zu genügen, 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 Qualitätssicherungsverfahren sowie „Virtual Reality“-Methoden; alle am Produktentstehungsprozess Beteiligten arbeiten wie ausführlich gezeigt wird, von Anfang an zusammen („Simultaneous Engineering“), wobei sich auch die Produktions- und Logistikprozesse stark verändern, Stichwort „4.0“.

Die achte Auflage erhält viele Aktualisierungen und Erweiterung in fast allen Bereichen. Dies zeigt sich besonders im Hauptkapitel Elektrik, Elektronik und Software. In diesem Zusammenhang sind besonders Telematik, Infotainment und Multimediaanwendungen zu nennen. Dabei wird das Automobil immer stärker in die globale Kommunikationswelt einbezogen. Die Zunahme der Fahrerassistenzsysteme und der Einsatz des eCalls (Notruf) vollzieht eine starke Vernetzung des Automobils mit seinem Umfeld. Der Weg vom teilautomatisierten zum vollautomatisierten Fahren scheint nicht mehr aufzuhalten zu sein, wobei die Zeitachse offen ist.

Zahlreiche Neuentwicklungen, aber auch die öffentliche Diskussion 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, den reinen Elektroantrieben und den Brennstoffzellenfahrzeugen sowie beim umfassenden Bordenergie-Management. Wegen der rasanten Weiterentwicklung war es notwendig, relevante Kapitel zu überarbeiten und zu aktualisieren.

Bei der Erstellung dieses Handbuchs 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 Springer Vieweg 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 achten Auflage geführt haben.

Weniger Gewicht.
Weniger Verbrauch.
Weniger Emissionen.



Ihr innovativer Partner für Powertrain- und Strukturbauteile

Seit mehr als 30 Jahren hat sich Nemak auf die Entwicklung und die Produktion von Aluminiumkomponenten für die Automobilindustrie spezialisiert, mit dem Fokus auf komplexen Teilen wie Zylinderköpfe, Motorblöcke, Getriebegehäuse und Strukturkomponenten. Technical Leadership, höchste Qualitätsstandards und uneingeschränkte Kundenorientierung bilden die Eckpfeiler unseres internationalen Erfolgs.



www.nemak.com



Dienstleistungen
für Akustik &
Schwingungstechnik

„WIR HÖREN GENAUER HIN

Als Experte für Vibroakustik wollen wir nur eines: Ihnen helfen, Ihr Produkt zu optimieren! Engineering, Messtechnik und modernste Prüfstände – alles aus einer Hand. Wir begleiten Ihren NVH-Entwicklungsprozess von der Komponente über den Motor bis hin zum Gesamtfahrzeug. Wir sind Ihr zuverlässiger, dynamischer und flexibler NVH-Dienstleister mit Sitz im Raum Stuttgart.

D.A.S. GmbH

Bertha-Benz-Str. 1 • 71120 Grafenau

T +49 7033 69338-0 • E info@das-nvh.de



Spüren Sie den Unterschied!
www.das-nvh.de

Kapitel, Beiträge und Mitarbeiter

1	Mobilität	Dr. Irene Feige Dipl.-Kfm. Frank Hansen
2	Anforderungen, Zielkonflikte	
2.1	Produktinnovation, bisherige Fortschritte	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert
2.2	Anforderungen durch den Gesetzgeber	Prof. Andre Seeck Dr. Jost Christian Gail Bernd Lorenz
2.2.5	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 Dr.-Ing. Carsten Repmann
3.3	Wärmetechnik	Dr. Andreas Eilemann Dr. Eberhard Pantow Dr. Markus Wawzyniak Dr. Achim Wiebelt
3.4	Akustik und Schwingungen	Dr.-Ing. Mihir Ayoubi
4	Formen und neue Konzepte	
4.1	Design	Dipl.-Ing. Klaus Wolff Dipl.-Des. Hans Dieter Futschik
4.2	Fahrzeugkonzept und Package	Dipl. Ing. Dipl. Wirtsch. Ing. August Achleitner Dipl.-Ing. Christiaan Burgers Dr.-Ing. Gernot Döllner
4.3	Neuartige Antriebe	
4.3.1	Elektroantriebe	Dr. Robert B. Inderka Dr.-Ing. Sicong von Malottki Dipl.-Ing. Manuel Urstöger
4.3.2	Brennstoffzellenantriebssysteme	Prof. Dr. Christian H. Mohrdieck Herbert Schulze Dr. Martin Wöhr
4.3.3	Hybridantrieb	Dipl.-Ing. (FH) Peter Antony Dipl.-Ing. (FH) Norbert Ebner M.Sc. Christoph Schildhauer
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	Dr.-Ing. Henning Baumgarten M.Sc. Marius Böhmer Dipl.-Ing. Michael Hinz Dr.-Ing. Martin Nijis Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger Dipl.-Ing. Mike Souren Dr.-Ing. Matthias Thewes
5.2	Dieselmotor	Dipl.-Ing. Richard Dorenkamp Dr. Klaus-Peter Schindler
5.2.7	Abgasnachbehandlung	Dr. Thorsten Düsterdiek Michael Zeiser Dr. Torsten Schütte
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
5.5.2	Antriebs- und Bremsregelung	Gerhard Kurz Georg Eichner
5.6	Abgasanlagen	Dr. Dennis Bönnon Dipl.-Ing. Emmanuel Jean Dipl.-Ing. Klaus Spindler
5.7	Bordenergie-Management	Dipl.-Ing. Markus Beck Dipl.-Ing. Roman Lahmeyer
5.8	Chancen und Risiken des Zweitaktmotors	Dipl.-Ing. MSc Bert Pingen
5.9	Konventionelle und alternative Kraftstoffe und Energieträger	Dr.-Ing. Jan Hentschel
5.10	Kraftstoffsystem	Hugo Kroiss Markus Huber
5.11	Kraftstoffversorgungsanlagen für alternative Energieträger	Dr. Klaas Kunze
6	Aufbau	
6.1	Karosseriebauweisen	Dipl.-Ing. Lothar Teske Dipl.-Ing. Helmut Goßmann
6.1.2	Aluminium Space Frame – ASF	Dipl.-Ing. Heinrich Timm
6.1.3	Leichtbaulösungen im Karosseriebau	Dr. Armin Plath
6.1.4	Cabriolet	Dipl.-Ing. (FH) Walter Pecho
6.2	Materialien der Karosserie	Prof. Dr. Rudolf Stauber Dr.-Ing. René Konorsa

6.3	Oberflächenschutz	Dr. Klaus Werner Thomer
6.4	Fahrzeuginnenraum	
6.4.1	Ergonomie	Prof. i.R. Dr. Heiner Bubb
6.4.2	Kommunikationssysteme und Navigation	Dr. Hans-Jörg Vögel
6.4.3	Innenraumbehaglichkeit/Thermischer Komfort	Dr. Markus Wawzyniak
6.4.4	Fahrzeuginnenausstattung	Georg Laukart Dipl.-Ing. Thomas Vorberg
7	Fahrwerk	
7.1	Einführung	Dr.-Ing. Axel Pauly
7.2	Bremssysteme	Dipl.-Ing. James Remfrey Dipl.-Ing. Steffen Gruber Dr.-Ing. Jan Sandler
7.3	Reifen, Räder, Gleitschutzketten	Dipl.-Phys. Heiner Volk
7.3.7	Räder	Dipl.-Ing. (FH) Roman Müller
7.3.8	Gleitschutzketten	Dr.-Ing. Hansjörg Rieger
7.4	Fahrwerksauslegung	Dr.-Ing. Andreas Bootz Dr.-Ing. Jens Holtschulze Dipl.-Ing. Hubert Strobl Dipl.-Ing. Ludwig Seethaler
7.5	Beurteilungskriterien	Dr.-Ing. Erich Sagan Dipl.-Ing. Martin Schwarz Dipl.-Ing. Thomas Unterstraßer (†)
8	Elektrik/Elektronik/Software	
8.1	Bedeutung Elektrik/Elektronik/Software für das Automobil	Dipl.-Ing. Simon Fürst Dr.-Ing. Thomas Scharnhorst
8.2	Das Bordnetz	Prof. Dr. rer. nat. Ludwig Brabetz
8.3	Kommunikationsbordnetze	Dr.-Ing. Olaf Krieger
8.4	Elektromagnetische Verträglichkeit	Dr. Wolfgang Pfaff
8.5	Funktionsdomänen	
8.5.1	Einleitung	
8.5.2	Beleuchtung	Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer
8.5.3	Instrumentierung für die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion	Dr. Heinz-Bernhard Abel Dr. Heinrich-Jochen Blume
8.5.4	Infotainment/Multimedia	Dipl.-Ing. Gerhard Heyen
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-Technik-Kooperation	Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer Dr. rer. soc. Meike Jipp
8.7	Software	Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Broy
8.8	Moderne Methoden der Regelungstechnik	Dr. Jörg Helbig Dr. Lothar Ganzelmeier
9	Fahrzeugsicherheit	Prof. Dr.-Ing. Mark Gonter Dipl.-Ing. André Leschke Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert
9.1	Allgemein	
9.2	Gebiete der Fahrzeugsicherheit	
9.3	Ergebnisse aus der Unfallforschung	
9.4	Unfallvermeidende Sicherheit	
9.5	Biomechanik und Schutzkriterien	
9.6	Quasistatische Anforderungen an die Karosserie und Komponenten	
9.7	Dynamische Fahrzeugkollision	
9.8	Insassenschutz	
9.9	Integrale Sicherheit	
9.10	Sicherheit von elektrischen Fahrzeugen	
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	Jürgen Weissinger Prof. Dr.-Ing. Thomas Breitling
11.3	Berechnung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung	Dr.-Ing. Ulrich Widmann Dr.-Ing. Ulrich Hackenberg
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	Dipl.-Ing. Norbert Grawunder Prof. Dr.-Ing. Volker Liskowsky

12	Rennfahrzeuge	Dipl.-Ing. Carsten Dieterich Dipl.-Ing. Christoph Müller Dipl.-Ing. (FH) Frank Nysten BMW AG, Motorsport
12.1	Einsatzbedingungen	
12.2	Fahrzeug-Kategorien	
12.3	Bauweise	
12.4	Performance und Rundenzeit	
12.5	Entwicklung Aerodynamik und Fahrdynamik	
12.6	Zuverlässigkeit	
13	Ausblick – Wo geht es hin?	Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert

Firmen- und Institutionenverzeichnis

- Adam Opel AG, Rüsselsheim
 - Dr. Thorsten Düsterdiek
 - Dipl.-Ing. Helmut Goßmann
 - Dr. Thorsten Schütte
 - Dipl.-Ing. Lothar Teske
 - Dr. Klaus Werner Thomer (vormals)
- Altair Engineering GmbH, Böblingen
 - Dipl.-Ing. Thomas Vorberg
- Audi AG, Ingolstadt
 - Dr.-Ing. Ulrich Hackenberg (vormals)
 - Dipl.-Ing. Heinrich Timm (vormals)
 - Dr.-Ing. Ulrich Widmann
- BBS Motorsport GmbH, Haslach
 - Dipl.-Ing. (FH) Roman Müller
- BMW Group, München
 - Dr.-Ing. Mihiar Ayoubi
 - Dr. Edgar Berger
 - Dr.-Ing. Andreas Bootz
 - Dr. Irene Feige
 - Dipl.-Ing. Simon Fürst
 - Dipl.-Ing. Manfred Gruber
 - Dipl.-Kfm. Frank Hansen
 - Dr.-Ing. Jens Holtschulze
 - Markus Huber
 - Dr.-Ing. Gerrit Kiesgen
 - Dr.-Ing. René Konorsa
 - Hugo Kroiss
 - Dr. Klaas Kunze
 - Gerhard Kurz
 - Dr.-Ing. Axel Pauly (vormals)
 - Dr.-Ing. Erich Sagan (vormals)
 - Dipl.-Ing. Martin Schwarz
 - Dipl.-Ing. Ludwig Seethaler
 - Dipl.-Ing. Hubert Strobl
 - Dipl.-Ing. Thomas Unterstraßer (†)
 - Dr. Hans-Jörg Vögel
- Bosch Engineering GmbH, Abstatt
 - Dipl.-Ing. Markus Beck
 - Dipl.-Ing. Roman Lahmeyer
- Continental AG, Hannover
 - Dipl.-Phys. Heiner Volk
- Continental Automotive GmbH, Babenhausen
 - Dr. Heinz-Bernhard Abel
 - Dr. Heinrich-Jochen Blume

- Continental Teves AG & Co. oHG, Frankfurt
 - Dipl.-Ing. James Remfrey
 - Dipl.-Ing. Steffen Gruber
 - Dr.-Ing. Jan Sandler
- Daimler AG, Kirchheim/Teck-Nabern
 - Prof. Dr. Christian H. Mohrdeck
- Daimler AG, Sindelfingen
 - Dipl.-Ing. (FH) Peter Antony
 - Prof. Dr.-Ing. Thomas Breitling
 - Dipl.-Ing. (FH) Norbert Ebner
 - Dipl.-Designer Hans Dieter Futschik
 - M.Sc. Christoph Schildhauer
 - Herbert Schulze
 - Jürgen Weissinger
 - Dr. Martin Wöhr
- Daimler AG, Stuttgart-Untertürkheim
 - Dr. Robert B. Inderka
 - Dr.-Ing. Sicong von Malottki
 - Dipl.-Ing. Manuel Urstöger
 - Markus Wagner, B. Eng.
- Faurecia Emissions Control Technologies, Augsburg
 - Dr. Dennis Bönner
 - Dipl.-Ing. Emmanuel Jean
 - Dipl.-Ing. Klaus Spindler
- FEV GmbH, Aachen
 - Dr.-Ing. Henning Baumgarten
 - Dipl.-Ing. Carsten Dieterich
 - Dipl.-Ing. Michael Hinz
 - Dr.-Ing. Martin Nijs
 - Dipl.-Ing. (FH) Frank Nysten
 - Dipl.-Ing. Mike Souren
 - Dr.-Ing. Matthias Thewes
 - Dipl.-Ing. Klaus Wolff
- Ford-Werke GmbH, Köln
 - Dipl.-Ing. MSc Bert Pinggen
- Hella KGaA, Lippstadt
 - Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer
- Magna Exteriors & Interiors Management GmbH, München
 - Georg Laukart
- MAGNA STEYR Engineering AG & CO KG, A-Graz
 - Dipl.-Ing. Heribert Lanzer
 - Ing. Hermann Pecnik
- MAHLE Behr GmbH & Co. KG, Stuttgart
 - Dr. Andreas Eilemann
 - Dr. Eberhard Pantow
 - Dr. Markus Wawzyniak
 - Dr. Achim Wiebelt

- 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
 - Dipl.-Ing. Christiaan Burgers
 - Dr. rer. pol. Dipl.-Ing. Ludwig Hamm (vormals)
 - Dipl.-Ing. Volker Peitz
- Robert Bosch GmbH, Stuttgart
 - Dr. Wolfgang Pfaff
- RUD Ketten Rieger & Dietz GmbH & Co. KG, Aalen
 - Dr.-Ing. Hansjörg Rieger
- Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Herzogenaurach
 - Berthold Krautkrämer
 - Reinhart Malik
 - Dr.-Ing. Robert Plank
 - Dr. Peter Solfrank
- Vehico GmbH, Braunschweig
 - Dr. Lothar Ganzelmeier
 - Dr. Jörg Helbig
- Visteon Innovation & Technology GmbH, Kerpen
 - Dipl.-Ing. Gerhard Heyen
- Volkswagen AG, Wolfsburg
 - Dipl.-Ing. Richard Dorenkamp (vormals)
 - Dr. Thorsten Düsterdiek
 - Prof. Dr.-Ing. Mark Gonter
 - Dipl.-Ing. Norbert Grawunder
 - Dr.-Ing. Jan Hentschel
 - Dr.-Ing. Olaf Krieger
 - Dipl.-Ing. André Leschke
 - Dr.-Ing. Heinz Mankau (vormals)
 - Dr. Armin Plath
 - Dr.-Ing. Carsten Repmann
 - Dr. Klaus-Peter Schindler
 - Dr.-Ing. Guido Schneider
 - Dr. Torsten Schütte
 - Michael Zeiser
- Webasto-Edscha Cabrio GmbH, Hengersberg
 - Dipl.-Ing. (FH) Walter Pecho

- WiTech Engineering GmbH, Braunschweig
 - Dr.-Ing. Thomas Scharnhorst
 - Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert
- ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen
 - Dr.-Ing. Gerhard Gumpoltsberger
 - Dipl.-Ing. Klaus Steinel
- ZF Getriebe GmbH Saarbrücken, Kressbronn
 - Dr. Jürgen Greiner
- ZF Friedrichshafen AG, Schweinfurt
 - Dr. Christoph Sasse

Institutionenverzeichnis

- Bundesanstalt für Straßenwesen
 - Dr. Jost Christian Gail
 - Bernd Lorenz
 - Prof. Andre Seeck
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
 - Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer
 - Dr. rer. soc. Meike Jipp
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 - Prof. Dr.-Ing. Peter M. Knoll
- NorCon Scientific Consulting, Esslingen
 - Prof. Dipl.-Ing. Karl E. Noreikat
- RWTH Aachen University
 - M.Sc. Marius Böhmer
 - Dipl.-Ing. Christoph Müller
 - Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger
- Technische Universität Berlin
 - Prof. Dr.-Ing. Roland Baar
- Technische Universität München
 - Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Broy
 - Prof. i.R. Dr. Heiner Bubb
- Universität Kassel
 - Prof. Dr. rer. nat. Ludwig Brabetz
- Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA), Berlin
 - Egbert Fritzsche
- Westsächsische Hochschule Zwickau
 - Prof. Dr.-Ing. Volker Liskowsky
- Zentralinstitut für Neue Materialien und Prozesstechnik der Universität Erlangen-Nürnberg
 - Prof. Dr. Rudolf Stauber



Sound is our line of business

Karosserieakustik

Sound Design

eCall

Freisprechanlagen

NVH

In-Car Communication

Die **HEAD acoustics GmbH** ist seit 30 Jahren der zuverlässige Partner der Automobil- und Telekommunikationsbranche und eines der weltweit führenden Unternehmen für ganzheitliche Akustiklösungen sowie Schall- und Schwingungsanalyse.

Innovation, Know-how und Erfahrung: Die Forschung sowie Entwicklung von Hard- und Software zur Messung, Analyse und Optimierung von Sprach- und Audioqualität findet international Anerkennung und setzt Standards.

Das technisch aufeinander abgestimmte Produktportfolio der **HEAD acoustics GmbH** bietet kundenspezifische und zielorientierte Lösungsansätze und Dienstleistungen.

Weitere Informationen erhalten Sie unter www.head-acoustics.de oder kontaktieren Sie uns direkt mit einer Mail an info@head-acoustics.de

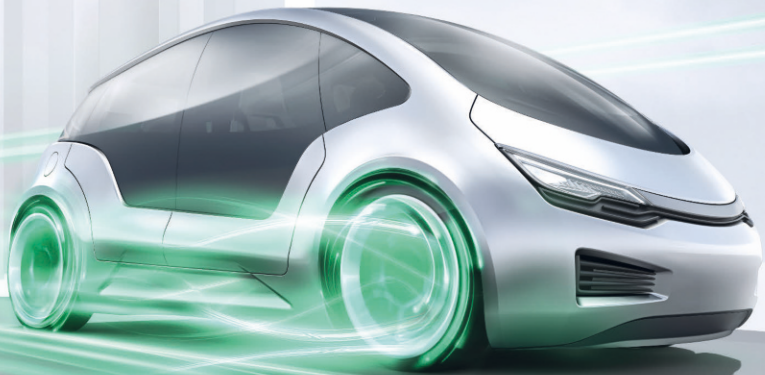


BOSCH

Technik fürs Leben

Erste Wahl für sauberes und sparsames Fahren

Antriebssysteme und elektrifizierte
Mobilität von Bosch



Mit kompletten Antriebssystemen für alle Fahrzeugklassen sorgt Bosch für Energieeffizienz in der Mobilität. Dazu gehören nicht nur die kontinuierliche Weiterentwicklung von Verbrennungsmotoren sondern auch Niedervolt- und Hochvolt-Hybridsysteme und Antriebssysteme

für Elektrofahrzeuge. Die intelligente Vernetzung von Komponenten und Systemen macht den Antrieb effizient und damit sauber und sparsam. Dafür kombiniert Bosch Hardware, Software und Services zu umfassenden Antriebslösungen.

www.bosch-mobility-solutions.de

Inhaltsverzeichnis

1	Mobilität	1
	<i>Dr. Irene Feige und Dipl.-Kfm. Frank Hansen</i>	
1.1	Einleitung	2
1.2	Ursachen und Arten der Mobilität	3
1.2.1	Definitionen	3
1.2.2	Aktivitäten bestimmen Mobilität	4
1.2.3	Transportsysteme für den Güterverkehr	5
1.2.4	Einige spezielle Ausprägungen von Mobilität	6
1.3	Spannungsfelder und Auswirkungen der Mobilität	6
1.4	Mobilitätsrelevante Anforderungen an Automobile	8
1.4.1	Grundsätzliche Anforderungen	8
1.4.2	Einige spezielle Anforderungen	8
	Literatur	9
2	Anforderungen, Zielkonflikte	11
	<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans-Hermann Braess, Egbert Fritzsche, Dr. Jost Christian Gail, Bernd Lorenz, Andre Seeck und Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert</i>	
2.1	Produktinnovation, bisherige Fortschritte	12
2.1.1	Kundenwünsche	12
2.1.2	Gesetzgebung	14
2.1.3	Fahrzeugtechnik	16
2.2	Anforderungen durch den Gesetzgeber	22
2.2.1	Einleitung	22
2.2.2	Regelungsvorbereitende Forschung	22
2.2.2.1	Nationale Forschung	23
2.2.2.2	EU-Forschung	23
2.2.2.3	European Enhanced Vehicle-Safety Committee (EEVC)	26
2.2.2.4	Forschung auf UNECE-Ebene	26
2.2.3	Anforderungen der Gesetzgebung	27
2.2.3.1	Nationale Anforderungen	28
2.2.3.1.1	Fahrzeug-Zulassungsverordnung	28
2.2.3.1.2	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung	28
2.2.3.1.3	EG-Fahrzeuggenehmigungsverordnung	28
2.2.3.2	Europäische Anforderungen	29
2.2.3.2.1	EG-Typgenehmigung	29
2.2.3.2.2	Technische Überwachung	30

2.2.3.2.3	Anforderungen der UNECE	30
2.2.3.2.4	Anforderungen im Rahmen des Selbstzertifizierungsverfahrens	31
2.2.3.3	Inhalte der verbindlichen Vorschriften für Kraftfahrzeuge	31
2.2.3.3.1	Beispiele für Anforderungen an die aktive Sicherheit	36
2.2.3.3.2	Beispiele für Anforderungen an die passive Sicherheit	37
2.2.3.3.3	Beispiele für Anforderungen an den Umweltschutz	38
2.2.4	Anforderungen des Verbraucherschutzes	40
2.2.4.1	Euro NCAP	41
2.2.4.2	Global NCAP und Verbraucherschutzprogramme in anderen Regionen der Welt	44
2.2.5	Normen	45
2.2.5.1	Einleitung	45
2.2.5.2	Nationale und internationale Struktur	45
2.2.5.3	Grundregeln der Normungsarbeit und Anwendung von Normen	45
2.2.5.4	Erarbeitung einer Norm	46
2.2.5.5	Facharbeit in Normenausschüssen	46
2.2.5.6	Normung in der Automobiltechnik	47
2.2.5.7	Aufgaben des NA Automobil	48
2.2.5.8	Normungsfelder	48
2.2.5.9	Nutzen der Normung	49
2.3	Neue Technologien	50
	Literatur	53
3	Fahrzeugphysik	57
	<i>Dr.-Ing. Mihir Ayoubi, Dr. Andreas Eilemann, Dr.-Ing. Heinz Mankau, Dr. Eberhard Pantow, Dr.-Ing. Carsten Reppmann, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert, Dr. Markus Wawzyniak und Dr. Achim Wiebelt</i>	
3.1	Grundlagen	58
3.1.1	Definitionen	58
3.1.2	Fahrwiderstand und Antrieb	59
3.1.2.1	Gesamtwiderstand	59
3.1.2.2	Rollwiderstand	60
3.1.2.3	Luftwiderstand	60
3.1.2.4	Antriebswiderstand	61
3.1.2.5	Steigungswiderstand	61
3.1.2.6	Beschleunigungswiderstand	61
3.1.2.7	Zugkraftausnutzung	61
3.1.2.8	Zugkraftdiagramm	61
3.1.3	Kraftstoffverbrauch beeinflussende Maßnahmen	62

3.1.4	Dynamische Kräfte	62
3.1.4.1	Fahrdynamik und Fahrverhalten	62
3.1.5	Weitere Definitionen	63
3.2	Aerodynamik	63
3.2.1	Grundlagen	63
3.2.2	Wirkungsbereiche	66
3.2.2.1	Luftwiderstand/Fahrleistung	66
3.2.2.2	Fahrsicherheit	68
3.2.2.3	Benetzung und Verschmutzung	69
3.2.2.4	Einzelkräfte	70
3.2.2.5	Kühlung/Bauteiltemperaturen	71
3.2.2.6	Innenraumklima	72
3.2.2.7	Windgeräusche	72
3.2.3	Einordnung in die Gesamtentwicklung	74
3.3	Wärmetechnik	75
3.3.1	Kühlung von Verbrennungsmotoren	75
3.3.1.1	Auslegung von Kühlern	76
3.3.1.2	Kühlerbauarten	77
3.3.1.3	Lüfter und Lüfterantriebe	79
3.3.1.4	Kühlmodule	79
3.3.1.5	Gesamtsystem Motorkühlung	80
3.3.2	Beheizen und Kühlen des Fahrgastraumes	81
3.3.2.1	Die Funktion Heizen und ihre Komponenten	81
3.3.2.2	Die Funktion der Kälteanlage und ihre Komponenten	83
3.3.2.3	Verdichter und Regelung der Kälteleistung	85
3.3.2.4	Auslegung der Klimaanlage	86
3.3.2.5	Kraftstoffmeherverbrauch durch die Klimaanlage	87
3.3.3	Komponenten und Systeme zur Heizung und Kühlung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen	88
3.3.3.1	Einführung	88
3.3.3.2	Microhybride	88
3.3.3.3	Milde Hybride und Batteriekühlung	89
3.3.3.4	Vollhybride und Plug-in-Hybride	91
3.3.3.5	Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge	92
3.4	Akustik und Schwingungen	93
3.4.1	Einleitung	93
3.4.2	Fahrgeräusche	98

3.4.3	Antriebsgeräusch	99
3.4.3.1	Luftschall	100
3.4.3.2	Aktive Luftschallbeeinflussung	103
3.4.3.3	Körperschall	104
3.4.3.4	Auslegung Akustik und Schwingungskomfort am Beispiel eines 3-Zylinder-Motors	107
3.4.4	Rollgeräusch	107
3.4.5	Windgeräusch	110
3.4.6	Mechatronische Geräusche	112
3.4.6.1	Stellmotoren	113
3.4.6.2	Fahrzeugklimatisierung	114
3.4.6.3	Lüfter und Gebläse	115
3.4.6.4	Lenkungssystem	115
3.4.6.5	Fahrwerksregelung	116
3.4.6.6	Biegeschlaffe Leitungen	116
3.4.7	Klappern, Knarzen, Quietschen	117
3.4.8	Außengeräusch	117
3.4.8.1	Standgeräusch	117
3.4.8.2	Fahrgeräusche	118
3.4.8.3	Vorbeifahrt nach ISO 362	119
3.4.8.4	Reifen/Fahrbahngeräusch	120
3.4.9	Schwingungskomfort	122
3.4.9.1	Motorexregte Schwingungen	123
3.4.9.2	Fahrbahnerregte Schwingungen	124
3.4.9.3	Raderregte Schwingungen	125
3.4.10	Akustik und Schwingungen beim Elektrischen Fahren	125
3.4.11	Prozess Akustikentwicklung	126
	Literatur	127
4	Formen und neue Konzepte	131
	<i>Dipl.-Ing. Dipl. Wirtsch. Ing. August Achleitner, Dipl.-Ing. (FH) Peter Antony, Dr. Edgar Berger, Dipl.-Ing. Christiaan Burgers, Dr.-Ing. Gernot Döllner, Norbert Ebner, Dipl.-Ing. (FH), Hans Dieter Futschik, Dipl.-Des., Manfred Gruber, Dipl.-Ing. (TU), Dr.-Ing. Gerrit Kiesgen, Dr. Robert B. Inderka, Dr.-Ing. Sicong von Malottki, Prof. Dr. Christian H. Mohrdieck, Prof. Dipl.-Ing. Karl E. Noreikat, Manuel Urstöger, Dipl.-Ing., Christoph Schildhauer, M. Sc., Herbert Schulze, Markus Wagner, Klaus Wolff und Dr. Martin Wöhr</i>	
4.1	Design	132
4.1.1	Der Design Prozess	132
4.1.1.1	Kreative Konzeptphase	132
4.1.1.2	3D Entwicklung	134
4.1.1.3	Physische Design Modelle	135
4.1.1.4	Color und Trim	136

4.1.1.5	Design Freeze	137
4.1.2	Design und Markenimage	137
4.1.2.1	Neue Automobilfirma	137
4.1.2.2	Etablierte Automobilfirma	138
4.1.3	Designstudien und Advanced Design	139
4.2	Fahrzeugkonzept und Package	140
4.2.1	Einführung und Definition	140
4.2.1.1	Definition Fahrzeugkonzept	140
4.2.1.2	Definition Package	141
4.2.2	Gestaltung von Fahrzeugkonzepten	141
4.2.2.1	Außenabmessungen und Fahrzeugklassen	142
4.2.2.2	Aufbauausprägungen und Konzeptsegmente	143
4.2.2.3	Fahrzeuggrundformen	143
4.2.2.4	Sitzigkeit, Gepäckraum und Innenraumvariabilität	146
4.2.2.5	Wesentliche Innenraumabmessungen	146
4.2.2.6	Aggregate- und Antriebsstrangkonzeppte	150
4.2.2.6.1	Bauart des Motors	151
4.2.2.6.2	Aggregateanordnung	151
4.2.2.6.3	Antriebskonzept und Triebstrang	151
4.2.2.6.4	Antriebsstrangkonzeppte	154
4.2.2.7	Elektrifizierung des Antriebsstrangs	157
4.2.2.7.1	Hybridkonzepte	157
4.2.2.7.2	Elektrofahrzeuge	158
4.2.2.8	Fahrzeuggewicht	158
4.2.3	Einflussfaktoren und Gestaltungsfelder des Package	159
4.2.3.1	Gesetze und Vorschriften	159
4.2.3.2	Innenraummaßkonzeption	159
4.2.3.3	Konzeptbeeinflussende Maßketten	161
4.2.3.3.1	Die Fahrzeuglänge definierende Maßketten	162
4.2.3.3.2	Die Fahrzeughöhe definierende Maßketten	163
4.2.3.3.3	Die Fahrzeugbreite definierende Maßketten	163
4.2.3.4	Ausgewählte Aspekte des Packages	164
4.2.3.4.1	Karosseriestruktur	164
4.2.3.4.2	Motorraum	164
4.2.3.4.3	Unterboden	164
4.2.3.4.4	Tank, Leitungen und Reserverad	165
4.2.3.5	Anforderungen aus Produktion und Kundendienst	165
4.2.3.5.1	Produktion und Modularisierung	165
4.2.3.5.2	Kundendienst	165

4.2.3.6	Einfluss von Plattform und Baukästen	165
4.2.4	Beispiele ausgewählter Fahrzeugkonzepte in unterschiedlichen Klassen	166
4.2.4.1	Beispiele nach Fahrzeuggrößenklasse	166
4.2.4.1.1	Kompaktklasse	166
4.2.4.1.2	Minicar	166
4.2.4.1.3	Mittelklasse	167
4.2.4.1.4	Obere Mittelklasse	167
4.2.4.1.5	Oberklasse	167
4.2.4.1.6	Luxusklasse	168
4.2.4.2	Beispiele nach Fahrzeugausprägung	168
4.2.4.2.1	Roadster	168
4.2.4.2.2	Coupé und Sportcoupé	168
4.2.4.2.3	Sport Utility Vehicles (SUV)	168
4.2.4.2.4	Van	169
4.2.5	Konzeption und Packageprozess in der industriellen Praxis	169
4.2.6	Entwicklung der Fahrzeugkonzepte	170
4.3	Neuartige Antriebe	173
4.3.1	Elektroantriebe im Kfz	173
4.3.1.1	Elektrischer Antriebsstrang eATS	179
4.3.1.2	Elektrische Maschinen	183
4.3.1.3	Leistungselektronik	189
4.3.1.4	Regelung des E-Motor-Systems	191
4.3.1.5	Getriebe	192
4.3.2	Brennstoffzellenantriebssysteme	195
4.3.2.1	Antriebsarchitektur mit PEM-Brennstoffzellen	196
4.3.2.1.1	Brennstoffzellen-Stack	196
4.3.2.1.2	Stack-Peripherie	201
4.3.2.1.3	Mobile Wasserstoffspeicher	202
4.3.2.1.4	Hybridisierter Brennstoffzellenantrieb	203
4.3.2.2	Sicherheit	204
4.3.2.3	Rechtsvorschriften und Standards	204
4.3.2.4	Brennstoffzellen-Fahrzeuge	205
4.3.2.4.1	Brennstoffzellen – Pkw und Transporter	205
4.3.2.4.2	Brennstoffzellen-Busse	206
4.3.2.4.3	Demonstrationen und Flottenversuche	207
4.3.2.5	Kraftstoffversorgung und Infrastruktur	207
4.3.2.6	Ausblick	210
4.3.3	Hybridantrieb	211
4.3.3.1	Szenario	211
4.3.3.2	Elektrifizierungsklassen	211

4.3.3.3	Konzepte und Betriebsstrategien	213
4.3.3.4	Betriebsstrategien	221
4.3.3.5	Plug-In Hybride	224
4.3.3.6	Hybrid Sportwagen	228
4.3.3.7	Antriebskomponenten aus Hybridsicht	230
4.3.3.8	Fahrzeugintegration	232
4.3.4	Stirlingmotor, Dampfmotor, Gasturbine und Schwungrad	234
4.3.4.1	Stirlingmotor	234
4.3.4.1.1	Kennwerte von Stirlingmotoren	236
4.3.4.2	Dampfmotor	236
4.3.4.3	Gasturbine	237
4.3.4.4	Schwungrad	239
4.3.5	Der Wasserstoff-Verbrennungsmotor	242
4.3.5.1	Konstruktive Merkmale	243
4.3.5.2	H ₂ -Brennverfahren mit äußerer Gemischbildung	243
4.3.5.3	H ₂ -Brennverfahren mit innerer Gemischbildung	244
4.3.5.4	Wirkungsgradpotenziale	245
4.3.5.5	H ₂ -Ottomotor als Fahrzeugantrieb	246
	Literatur	246
5	Antriebe	253
	<i>Prof. Dr.-Ing. Roland Baar, Dr.-Ing. Henning Baumgarten, Dipl.-Ing. Markus Beck, Marius Böhmer, M.Sc., Dr. Dennis Bönnes, Dipl.-Ing. Richard Dorenkamp, Dr. Thorsten Düsterdiek, Georg Eichner, Dr. Jürgen Greiner, Dr.-Ing. Gerhard Gumpoltsberger, Dr.-Ing. Jan Hentschel, Michael Hinz, Dipl.-Ing., Dipl.-Ing. Emmanuel Jean, Hugo Kroiss, Gerhard Kurz, Roman Lahmeyer, Dipl.-Ing., Dipl.-Ing. Heribert Lanzer, Dr.-Ing. Martin Nijs, Ing. Hermann Pecnik, Dipl.-Ing. MSc Bert Pinggen, Prof. Dr. Dr. E.h. Franz Pischinger, Dr. Christoph Sasse, Dr. Klaus-Peter Schindler, Dr. Torsten Schütte, Mike Souren, Dipl.-Ing., Dipl.-Ing. Klaus Spindler, Dipl.-Ing. Klaus Steinel, Dr.-Ing. Matthias Thewes und Michael Zeiser</i>	
5.1	Grundlagen der Motorentechnik	254
5.1.1	Prozess des Verbrennungsmotors	254
5.1.1.1	Viertakt-Verfahren	254
5.1.1.2	Zweitakt-Verfahren	257
5.1.2	Definitionen und Kenngrößen	258
5.1.2.1	Leistungskenngrößen	258
5.1.2.2	Spezifische Motorkenngrößen	258
5.1.2.3	Wirkungsgrade	259
5.1.3	Bauarten	261
5.1.3.1	Hubkolbenmotoren	261
5.1.3.1.1	Bauformen	261
5.1.3.1.2	Kinematik des Kurbeltriebs	263

5.1.3.1.3	Kräfte und Momente im Triebwerk	264
5.1.3.2	Rotationskolbenmotoren	269
5.1.3.3	Range Extender Aggregate	269
5.1.3.4	Konstruktive Anforderungen an Verbrennungsmotoren für hybride Antriebsstränge	270
5.1.4	Konstruktion und Motormechanik	271
5.1.4.1	Kurbelgehäuse	272
5.1.4.2	Kurbelwelle	274
5.1.4.3	Pleuel	275
5.1.4.4	Kolben	276
5.1.4.5	Zylinderkopf und Dichtung	276
5.1.4.6	Ventiltrieb und Steuertrieb	278
5.1.4.6.1	Hauptbauteile des Ventiltriebs	278
5.1.4.6.2	Bauformen des Ventiltriebs	279
5.1.4.6.3	Variable Ventilsteuerung	283
5.1.4.7	Motorkühlung	286
5.1.4.8	Motorschmierung	289
5.1.4.9	Saugrohr	292
5.1.4.10	Nebenaggregate und Package	293
5.1.5	Ottomotoren	295
5.1.5.1	Ladungswechsel	297
5.1.5.1.1	Ansaugsystem	297
5.1.5.1.2	Abgassystem	299
5.1.5.1.3	Ventilsteuerzeiten und variable Ventilsteuerung	300
5.1.5.2	Gemischbildung	305
5.1.5.2.1	Homogene Gemischbildung	307
5.1.5.2.2	Benzin-Direkteinspritzung	308
5.1.5.2.3	Abgasrückführung	316
5.1.5.2.4	Ladungsbewegung	317
5.1.5.3	Zündung	318
5.1.5.4	Downsizing und Aufladung	323
5.1.5.4.1	Betriebspunktverlagerung	323
5.1.5.4.2	Variable Verdichtung	327
5.1.5.5	Verbrennung	327
5.1.5.6	Wassereinspritzung	330
5.1.5.7	Abgasreinigung	330
5.1.5.7.1	Drei-Wege-Katalysator	331
5.1.5.7.2	DeNO _x -Katalysator	337