

ATZ/MTZ-Fachbuch

Hans-Hermann Braess
Ulrich Seiffert *Hrsg.*

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

7. Auflage



 Springer Vieweg

The logo for Springer Vieweg, featuring a white horse head icon inside a white square, followed by the text "Springer Vieweg" in a white, sans-serif font.

ATZ/MTZ-Fachbuch

Die komplexe Technik heutiger Kraftfahrzeuge 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, aktuell und anwendungsorientiert zusammenstellt.

Die Reihe wendet sich an Fahrzeugingenieure in Praxis und Studium, die im Rahmen beruflicher Weiterbildung Nachschlagebedarf haben und im Zusammenhang Fragestellungen ihres Arbeitsfeldes verstehen müssen sowie an Professoren und Dozenten an Hoch- und Fachhochschulen mit Schwerpunkt Kraftfahrzeugtechnik. Sie liefert gleichzeitig das theoretische Rüstzeug für das Verständnis wie auch die Anwendungen, wie sie für Gutachter, Prüfer und Entwicklungsingenieure in der Automobil- und Zulieferindustrie benötigt werden.

Hans-Hermann Braess
Ulrich Seiffert
Herausgeber

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

7., aktualisierte Auflage

Mit 1283 Abbildungen und 50 Tabellen



Springer Vieweg

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans-Hermann Braess
Grünwald, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert
Braunschweig, Deutschland

ISBN 978-3-658-01690-6 ISBN 978-3-658-01691-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-658-01691-3

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

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2000, 2001, 2003, 2005, 2007, 2011, 2013

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.

Lektorat: Ewald Schmitt/Elisabeth Lange

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer
Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

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 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 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.

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. 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, welt-

weiter 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 Produktentstehungsprozess Beteiligten arbeiten, wie ausführlich gezeigt wird, von Anfang an zusammen (»Simultaneous Engineering«).

Die siebte Auflage enthält Aktualisierungen und Erweiterungen, z. B. hinsichtlich der Fahrzeugsicherheit, Software und Wettbewerbsfahrzeuge. Dies zeigt sich 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. Eine Aktualisierung der Literaturverzeichnisse enthält die jeweils neuesten Hinweise auf thematisch passendes Schrifttum und mit den Verbesserungen von Bildern wurde dem Informationsbedarf Rechnung getragen.

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, relevante 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 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 sechsten Auflage geführt haben.

Grünwald/Braunschweig im September 2013

Hans-Hermann Braess

Ulrich Seiffert

Inhaltsverzeichnis

Kapitel, Beiträge und Mitarbeiter	XXXVIII
Firmen- und Institutionenverzeichnis	XLIII
Autorenverzeichnis	XLVII
1 Mobilität	1
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	8
2 Anforderungen, Zielkonflikte	11
2.1 Produktinnovation, bisherige Fortschritte	12
2.1.1 Kundenwünsche	12
2.1.2 Gesetzgebung	13
2.1.3 Fahrzeugtechnik	16
2.2 Anforderungen durch den Gesetzgeber	21
2.2.1 Zulassung zum Straßenverkehr	21
2.2.2 Die nationalen und supranationalen Rechtsquellen	22
2.2.2.1 Straßenverkehrsrecht mit StVZO	22
2.2.2.2 Rechtsakte der Europäischen Union	26
2.2.2.3 Regelungen der UN-Wirtschaftskommission für Europa	27
2.2.2.4 Weitere Maßnahmen zum Abbau von Handelshemmnissen	28
2.2.3 Unfallvorbeugung (aktive Sicherheit)	28
2.2.3.1 Allgemeines	28
2.2.3.2 Bremsanlage	28
2.2.3.3 Sichtfeld	29
2.2.3.4 Lichttechnische Einrichtungen	30
2.2.4 Unfallfolgenmilderung (passive Sicherheit)	30
2.2.4.1 Allgemeines	30
2.2.4.2 Insassenschutz bei Frontalaufprall	30
2.2.4.3 Insassenschutz bei Seitenaufprall	31
2.2.4.4 Fußgängerschutz	31
2.2.5 Anforderungen an das Emissionsverhalten	32
2.2.5.1 Allgemeines	32
2.2.5.2 Geräuschpegel und Auspuffanlage	32

2.2.5.3	Abgase	32
2.2.5.3.1	Emissionen von Kraftfahrzeugen	32
2.2.5.4	Elektromagnetische Verträglichkeit und Funkstörung	34
2.2.6	Verschiedenes	36
2.2.6.1	Anbringung des hinteren Kennzeichens	36
2.2.6.2	Sicherungseinrichtungen gegen unbefugte Benutzung, Wegfahrsperrung, Diebstahlschutz	36
2.2.6.3	Fabrikschild, Fahrzeugidentifizierungsnummer	36
2.2.6.4	Messung der Motorleistung	36
2.2.6.5	Massen und Abmessungen von Klasse M ₁ -Fahrzeugen	36
2.2.6.6	Altfahrzeuge, Recycling	36
2.2.7	Ausblick	37
2.2.8	Normen	37
2.2.8.1	Einleitung	37
2.2.8.2	Nationale und internationale Struktur	37
2.2.8.3	Grundregeln der Normungsarbeit und Anwendung von Normen	38
2.2.8.4	Erarbeitung einer Norm	38
2.2.8.5	Facharbeit in Normenausschüssen	38
2.2.8.6	Normung in der Automobiltechnik	39
2.2.8.7	Aufgaben des NA Automobil	40
2.2.8.8	Normungsfelder	40
2.2.8.9	Nutzen der Normung	41
2.3	Neue Technologien	42
Literatur		45
	Literatur zu Abschnitt 2.1	45
	Allgemeine Literatur zu Abschnitt 2.1	45
	Literatur zu Abschnitt 2.2	45
	Relevante Internetseiten zu Abschnitt 2.2	45
	Literatur zu Abschnitt 2.3	45
3	Fahrzeugphysik	47
3.1	Grundlagen	48
3.1.1	Definitionen	48
3.1.2	Fahrwiderstand und Antrieb	50
3.1.2.1	Gesamtwiderstand	50
3.1.2.2	Rollwiderstand	50
3.1.2.3	Luftwiderstand	50
3.1.2.4	Antriebswiderstand	51
3.1.2.5	Steigungswiderstand	51
3.1.2.6	Beschleunigungswiderstand	51
3.1.2.7	Zugkraftausnutzung	51
3.1.2.8	Zugkraftdiagramm	51
3.1.3	Kraftstoffverbrauch beeinflussende Maßnahmen	52
3.1.4	Dynamische Kräfte	52
3.1.4.1	Fahrdynamik und Fahrverhalten	52
3.1.5	Weitere Definitionen	53

3.2	Aerodynamik	53
3.2.1	Grundlagen	53
3.2.2	Wirkungsbereiche	55
3.2.2.1	Luftwiderstand/Fahrleistung	55
3.2.2.2	Fahrsicherheit	58
3.2.2.3	Benetzung und Verschmutzung	58
3.2.2.4	Einzelkräfte	60
3.2.2.5	Kühlung/Bauteiltemperaturen	61
3.2.2.6	Innenraumklima	62
3.2.2.7	Windgeräusche	62
3.2.3	Einordnung in die Gesamtentwicklung	64
3.3	Wärmetechnik	64
3.3.1	Kühlung von Verbrennungsmotoren	64
3.3.1.1	Auslegung von Kühlern	66
3.3.1.2	Kühlerbauarten	67
3.3.1.3	Lüfter und Lüfterantriebe	69
3.3.1.4	Kühlmodule	69
3.3.1.5	Gesamtsystem Motorkühlung	69
3.3.2	Beheizen und Kühlen des Fahrgastraumes	70
3.3.2.1	Die Funktion Heizen und ihre Komponenten	71
3.3.2.2	Die Funktion der Kälteanlage und ihre Komponenten	72
3.3.2.3	Verdichter und Regelung der Kälteleistung	75
3.3.2.4	Auslegung der Klimaanlage	75
3.3.2.5	Kraftstoffmehrverbrauch durch die Klimaanlage	77
3.3.3	Komponenten und Systeme zur Heizung und Kühlung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen	78
3.3.3.1	Einführung	78
3.3.3.2	Microhybride	78
3.3.3.3	Milde Hybride und Batteriekühlung	79
3.3.3.4	Vollhybride und Plug-in-Hybride	81
3.3.3.5	Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge	82
3.4	Akustik und Schwingungen	83
3.4.1	Einleitung	83
3.4.2	Fahrgeräusche	86
3.4.3	Antriebsgeräusch	87
3.4.3.1	Luftschall	88
3.4.3.2	Aktive Luftschallbeeinflussung	91
3.4.3.3	Körperschall	92
3.4.3.4	Auslegung Akustik und Schwingungskomfort am Beispiel eines 3-Zylinder-Motors	95
3.4.4	Rollgeräusch	96
3.4.5	Windgeräusch	98
3.4.6	Mechatronische Geräusche	101
3.4.6.1	Stellmotoren	101
3.4.6.2	Fahrzeugklimatisierung	102
3.4.6.3	Lüfter und Gebläse	103
3.4.6.4	Lenkungssystem	104
3.4.6.5	Fahrwerksregelung	104
3.4.6.6	Biegeschlaffe Leitungen	105

3.4.7	Klappern, Knarzen, Quietschen	105
3.4.8	Außengeräusch	106
3.4.8.1	Standgeräusch	106
3.4.8.2	Fahrgeräusche	107
3.4.8.3	Vorbeifahrt nach ISO 362	107
3.4.8.4	Reifen/Fahrbahngeräusch	109
3.4.9	Schwingungskomfort	109
3.4.9.1	Motorerregte Schwingungen	111
3.4.9.2	Fahrbahnerregte Schwingungen	112
3.4.9.3	Raderregte Schwingungen	113
3.4.10	Akustik und Schwingungen beim Elektrischen Fahren	114
3.4.11	Prozess Akustikentwicklung	115
Literatur	. . . . .	115
Literatur zu Abschn. 3.1	. . . . .	115
Literatur zu Abschn. 3.2	. . . . .	116
Literatur zu Abschn. 3.3	. . . . .	116
Literatur zu Abschn. 3.4	. . . . .	117
4	Formen und neue Konzepte	119
4.1	Design	120
4.1.1	Die Bedeutung von Design	120
4.1.2	Designziele	120
4.1.3	Der Designprozess	121
4.1.4	Der kreative Prozess	121
4.1.4.1	Einflüsse durch Gesetze und Vorschriften	123
4.1.4.2	Interieur und Ergonomie	124
4.1.5	Der virtuelle Designprozess	124
4.1.6	Modellphase	125
4.1.7	Color, Trim und Individualisierung	125
4.1.8	Designaktivitäten in der Produktionsvorbereitung	126
4.1.9	Entscheidungen	126
4.1.10	Designstudien und Advanced Design	127
4.1.11	Sinnliche Wahrnehmung im Design	127
4.2	Fahrzeugkonzept und Package	130
4.2.1	Einführung und Definition	130
4.2.1.1	Definition Fahrzeugkonzept	130
4.2.1.2	Definition Package	131
4.2.2	Gestaltung von Fahrzeugkonzepten	131
4.2.2.1	Außenabmessungen und Fahrzeugklassen	132
4.2.2.2	Aufbauausprägungen und Konzeptsegmente	132
4.2.2.3	Fahrzeuggrundformen	133
4.2.2.4	Sitzigkeit, Gepäckraum und Innenraumvariabilität	136
4.2.2.5	Wesentliche Innenraumabmessungen	136
4.2.2.6	Aggregate- und Antriebsstrangkonzeppte	140
4.2.2.6.1	Bauart des Motors	141
4.2.2.6.2	Aggregateanordnung	141

4.2.2.6.3	Antriebskonzept und Triebstrang	141
4.2.2.6.4	Antriebsstrangkonzeppte	144
4.2.2.7	Elektrifizierung des Antriebsstrangs	145
4.2.2.7.1	Hybridkonzepte	145
4.2.2.7.2	Elektrofahrzeuge	148
4.2.2.8	Fahrzeuggewicht	148
4.2.3	Einflussfaktoren und Gestaltungsfelder des Package	149
4.2.3.1	Gesetze und Vorschriften	149
4.2.3.2	Innenraummaßkonzeption	149
4.2.3.3	Konzeptbeeinflussende Maßketten	151
4.2.3.3.1	Die Fahrzeuglänge definierende Maßketten	152
4.2.3.3.2	Die Fahrzeughöhe definierende Maßketten	153
4.2.3.3.3	Die Fahrzeugbreite definierende Maßketten	153
4.2.3.4	Ausgewählte Aspekte des Packages	154
4.2.3.4.1	Karosseriestruktur	154
4.2.3.4.2	Motorraum	154
4.2.3.4.3	Unterboden	154
4.2.3.4.4	Tank, Leitungen und Reserverad	155
4.2.3.5	Anforderungen aus Produktion und Kundendienst	155
4.2.3.5.1	Produktion und Modularisierung	155
4.2.3.5.2	Kundendienst	155
4.2.3.6	Einfluss von Plattform und Baukästen	155
4.2.4	Beispiele ausgewählter Fahrzeugkonzepte in unterschiedlichen Klassen	156
4.2.4.1	Beispiele nach Fahrzeuggrößenklasse	156
4.2.4.1.1	Kompaktklasse	156
4.2.4.1.2	Minicar	156
4.2.4.1.3	Mittelklasse	156
4.2.4.1.4	Obere Mittelklasse	156
4.2.4.1.5	Oberklasse	156
4.2.4.1.6	Luxusklasse	157
4.2.4.2	Beispiele nach Fahrzeugausprägung	157
4.2.4.2.1	Roadster	157
4.2.4.2.2	Coupé und Sportcoupé	157
4.2.4.2.3	Sport Utility Vehicles (SUV)	157
4.2.4.2.4	Van	157
4.2.5	Konzeption und Packageprozess in der industriellen Praxis	158
4.2.6	Entwicklung der Fahrzeugkonzepte	160
4.3	Neuartige Antriebe	161
4.3.1	Elektroantriebe	161
4.3.1.1	Antriebssystem für Elektrofahrzeuge	162
4.3.1.2	Elektromotoren für Elektrofahrzeuge	162
4.3.1.2.1	Gleichstrommotoren	164
4.3.1.2.2	Drehstrommotoren	164
4.3.1.2.3	Spezialmotoren	165
4.3.1.3	Umrichter	165
4.3.1.3.1	Gleichstromsteller	166
4.3.1.3.2	Umrichter mit Gleichspannungszwischenkreis	166

4.3.1.4	Traktionsbatterien	166
4.3.1.4.1	Bleibatterien	168
4.3.1.4.2	Nickel/Cadmium-Batterien	168
4.3.1.4.3	Nickel/Metallhydrid-Batterien	168
4.3.1.4.4	Natrium/Nickelchlorid-Batterien	169
4.3.1.4.5	Lithium/Ionen-Batterie	169
4.3.1.4.6	Lithium/Polymer	169
4.3.1.4.7	Zink/Luft-Batterie	169
4.3.1.5	Superkondensatoren	169
4.3.1.6	Ladegeräte	169
4.3.1.7	Ausblick	170
4.3.2	Brennstoffzellenantriebssysteme	170
4.3.2.1	Antriebsarchitektur mit PEM-Brennstoffzellen	171
4.3.2.1.1	Brennstoffzellen-Stack	172
4.3.2.1.2	Stack-Peripherie	176
4.3.2.1.3	Mobile Wasserstoffspeicher	177
4.3.2.1.4	Hybridisierter Brennstoffzellenantrieb	178
4.3.2.2	Sicherheit	179
4.3.2.3	Rechtsvorschriften und Standards	180
4.3.2.4	Brennstoffzellen-Fahrzeuge	180
4.3.2.4.1	Brennstoffzellen – Pkw und Transporter	181
4.3.2.4.2	Brennstoffzellen-Busse	182
4.3.2.4.3	Demonstrationen und Flottenversuche	183
4.3.2.5	Kraftstoffversorgung und Infrastruktur	183
4.3.2.6	Ausblick	186
4.3.3	Hybridantrieb	187
4.3.3.1	Szenario	187
4.3.3.1.1	Marktentwicklung	187
4.3.3.2	Konzepte und Betriebsstrategien	187
4.3.3.2.1	Parallelhybride	187
4.3.3.2.2	Serielle Hybride	191
4.3.3.2.3	Mischhybride	192
4.3.3.3	Betriebsstrategien	194
4.3.3.4	Plug-In Hybride	196
4.3.3.5	Hybrid Sportwagen	198
4.3.3.6	Antriebskomponenten aus Hybridsicht	200
4.3.3.6.1	Wärme kraftmaschinen	200
4.3.3.6.2	Batterie	200
4.3.3.6.3	Getriebe	201
4.3.3.6.4	Elektromaschinen und Leistungselektronik	201
4.3.3.7	Fahrzeugintegration	202
4.3.4	Stirlingmotor, Dampfmotor, Gasturbine und Schwungrad	202
4.3.4.1	Stirlingmotor	202
4.3.4.1.1	Kennwerte von Stirlingmotoren	204
4.3.4.2	Dampfmotor	205
4.3.4.3	Gasturbine	205
4.3.4.4	Schwungrad	207

4.3.5	Der Wasserstoff-Verbrennungsmotor	210
4.3.5.1	Konstruktive Merkmale	211
4.3.5.2	H ₂ -Brennverfahren mit äußerer Gemischbildung	212
4.3.5.3	H ₂ -Brennverfahren mit innerer Gemischbildung	213
4.3.5.4	Wirkungsgradpotenziale	213
4.3.5.5	H ₂ -Ottomotor als Fahrzeugantrieb	214
Literatur		215
	Literatur und Abbildungen zu Abschnitt 4.1	215
	Literatur zu Abschnitt 4.2	215
	Literatur zu Abschnitt 4.3.1	215
	Literatur zu Abschnitt 4.3.2	216
	Literatur zu Abschnitt 4.3.3	217
	Literatur zu Abschnitt 4.3.4	218
	Literatur zu Abschnitt 4.3.5	219
5	Antriebe	221
5.1	Grundlagen der Motorentechnik	222
5.1.1	Prozess des Verbrennungsmotors	222
5.1.1.1	Viertakt-Verfahren	222
5.1.1.2	Zweitakt-Verfahren	223
5.1.2	Definitionen und Kenngrößen	224
5.1.2.1	Leistungskenngrößen	224
5.1.2.2	Spezifische Motorkenngrößen	224
5.1.2.3	Wirkungsgrade	225
5.1.3	Bauarten	227
5.1.3.1	Hubkolbenmotoren	227
5.1.3.1.1	Bauformen	227
5.1.3.1.2	Kinematik des Kurbeltriebs	229
5.1.3.1.3	Kräfte und Momente im Triebwerk	229
5.1.3.2	Rotationskolbenmotoren	234
5.1.4	Konstruktion und Motormechnik	235
5.1.4.1	Kurbelgehäuse	235
5.1.4.2	Kurbelwelle	237
5.1.4.3	Pleuel	237
5.1.4.4	Kolben	238
5.1.4.5	Zylinderkopf	238
5.1.4.6	Ventiltrieb und Steuertrieb	239
5.1.4.6.1	Hauptbauteile des Ventiltriebs	239
5.1.4.6.2	Bauformen des Ventiltriebs	240
5.1.4.6.3	Variable Ventilsteuerung	243
5.1.4.7	Motorkühlung	247
5.1.4.8	Motorschmierung	249
5.1.4.9	Saugrohr	252
5.1.4.10	Nebenaggregate und Package	252

5.1.5	Ottomotoren	254
5.1.5.1	Ladungswechsel	256
5.1.5.1.1	Ansaugsystem	256
5.1.5.1.2	Abgassystem	257
5.1.5.1.3	Ventilsteuerzeiten	259
5.1.5.1.4	Variable Ventilsteuerung	259
5.1.5.2	Gemischbildung	262
5.1.5.2.1	Homogene Gemischbildung	263
5.1.5.2.2	Benzin-Direkteinspritzung	264
5.1.5.2.3	Abgasrückführung	272
5.1.5.2.4	Ladungsbewegung	273
5.1.5.3	Zündung	274
5.1.5.4	Downsizing und Aufladung	278
5.1.5.4.1	Betriebspunktverlagerung	279
5.1.5.4.2	Variable Verdichtung	280
5.1.5.5	Verbrennung	281
5.1.5.6	Abgasreinigung	284
5.1.5.6.1	Drei-Wege-Katalysator	285
5.1.5.6.2	DeNO _x -Katalysator	288
5.1.5.7	Motormanagement	291
5.1.5.7.1	Motorsteuerung	291
5.1.5.7.2	Betriebsstrategie und Motormanagement bei Benzin-Direkteinspritzung	294
5.2	Dieselmotor	296
5.2.1	Definitionen	296
5.2.1.1	Verbrennungsmotor	296
5.2.1.2	Dieselmotor	296
5.2.2	Historie des Dieselmotors	296
5.2.3	Motortechnische Grundlagen	297
5.2.3.1	Einleitung	297
5.2.3.2	Vergleich motorischer Verbrennungsverfahren	297
5.2.3.3	Die Thermodynamik des Dieselmotors	300
5.2.4	Die dieselmotorische Verbrennung	302
5.2.4.1	Allgemeines	302
5.2.4.2	Einspritzung und Gemischbildung	302
5.2.4.3	Selbstzündung und Zündverzug	304
5.2.4.4	Verbrennung und Brennverlauf	305
5.2.4.5	Abgasemissionen	305
5.2.5	Die dieselmotorischen Verbrennungsverfahren	309
5.2.5.1	Ausführungsformen	309
5.2.5.2	Vorkammerverfahren	310
5.2.5.3	Wirbelkammerverfahren	311
5.2.5.4	Direkte Einspritzung	311
5.2.5.5	Qualitative Bewertung von Verbrennungsverfahren	313
5.2.5.6	Simulation der dieselmotorischen Verbrennung	314
5.2.6	Konstruktive und funktionale Merkmale des Dieselmotors	315
5.2.6.1	Zylinderkopf und Zylinderkurbelgehäuse	315
5.2.6.2	Einspritzsysteme	317
5.2.6.3	Aufladung	325

5.2.6.4	Abgasrückführung	325
5.2.6.5	Luftmanagement	327
5.2.6.6	Brennverfahren	327
5.2.6.7	Downsizing und Downsizing	327
5.2.7	Abgasnachbehandlung	328
5.2.7.1	Oxidationskatalysator	328
5.2.7.2	Dieselpartikelfilter	328
5.2.7.3	Entstickung	332
5.2.8	Dieseldieselkraftstoffe	337
5.2.9	Regelung	339
5.2.10	Die Zukunft des Dieselmotors	340
5.3	Aufladung	350
5.3.1	Hintergrund	350
5.3.2	Aufladepprinzip	352
5.3.2.1	Schwingrohraufladung	352
5.3.2.2	Kompressorausladung	353
5.3.2.3	Abgasturboaufladung	353
5.3.2.4	Sonstige Systeme	354
5.3.3	Konstruktiver Aufbau	356
5.3.4	Kopplung von Motor und Verdichter	357
5.3.5	Regelung	357
5.3.5.1	Kompressor	357
5.3.5.2	Turbolader mit Bypassregelung (Wastegate)	358
5.3.5.3	Turbolader mit Regelung über einen verstellbaren Düsenring	358
5.3.5.4	Zweistufig geregelte Aufladung aus zwei Abgasturboladern	359
5.3.5.5	Zweistufig geregelte Aufladung aus Abgasturbolader und Kompressor	360
5.3.6	Motorkomponenten im unmittelbaren Zusammenhang zur Aufladung	360
5.3.6.1	Ladeluftkühlung	360
5.3.6.2	Abgasrückführung	361
5.3.6.3	Schubumluft	361
5.3.7	Sonstige Regelungssysteme	361
5.3.7.1	Turbolader mit Regelung über eine verschiebbare Hülse am Turbineneintritt	361
5.3.7.2	Elektrisch unterstützte Aufladung	361
5.3.7.3	Registerraufladung	362
5.3.7.4	Turbo-Compound-Verfahren	362
5.3.8	Downsizing und Aufladung: Potentiale, Grenzen, Auswirkungen	362
5.3.9	Methoden in der Entwicklung	363
5.3.10	Ausblick	366
5.4	Triebstrang	366
5.4.1	Überblick	366
5.4.1.1	Einleitung	366
5.4.1.2	Aufgaben des Getriebes	367
5.4.1.3	Aufbau und Elemente des Triebstrangs	369
5.4.1.4	Achsantrieb	369
5.4.1.5	Differenzialgetriebe	369
5.4.1.6	Allrad-Verteilergetriebe	370
5.4.1.7	Gelenkwellen	370

5.4.1.8	Schwingungssystem	371
5.4.1.8.1	Torsionsschwingungen	371
5.4.1.8.2	Biegeschwingungen	371
5.4.2	Anfahrelemente	371
5.4.2.1	Kupplungen	371
5.4.2.1.1	Drehmomentübertragung	372
5.4.2.1.2	Trennen	373
5.4.2.1.3	Drehschwingungsdämpfung	373
5.4.2.1.4	Kupplungsbetätigung	374
5.4.2.2	Hydrodynamische Drehmomentwandler	375
5.4.2.2.1	Einleitung	375
5.4.2.2.2	Aufbau	375
5.4.2.2.3	Funktionsweise	376
5.4.2.2.4	Ausblick	378
5.4.3	Das Handschaltgetriebe-System	379
5.4.3.1	Funktion und Aufbau	379
5.4.3.2	Verzahnung	380
5.4.3.3	Synchronisierung	380
5.4.3.4	Weitere Getriebekomponenten	381
5.4.3.5	Getriebeschaltung	381
5.4.3.6	Ausführungsbeispiele	382
5.4.3.7	Automatisierte Schaltgetriebe	382
5.4.4	Stufenautomatgetriebe	383
5.4.4.1	Funktionsweise	383
5.4.4.2	Aufbau	385
5.4.4.3	Baugruppen	386
5.4.4.4	Betätigung	390
5.4.4.5	Betriebsverhalten	391
5.4.4.6	Ausführungsbeispiele	392
5.4.5	Stufenlose Getriebe	393
5.4.5.1	Funktionsweise	393
5.4.5.2	Aufbau	395
5.4.5.3	Baugruppen	396
5.4.5.4	Betätigung	397
5.4.5.5	Betriebsverhalten	398
5.4.5.6	Ausführungsbeispiele	399
5.4.6	Doppelkupplungsgetriebe	400
5.4.6.1	Funktionen und Bauteile	401
5.4.6.2	Radsatzsynthese	403
5.4.7	Hybridantriebe	403
5.4.7.1	Hybridsysteme	403
5.4.7.2	Mikrohybrid	405
5.4.7.3	Mildhybrid und Vollhybrid	405
5.4.7.4	Verbrauchseinsparung	405
5.4.8	Elektronische Getriebesteuerung	406
5.4.8.1	Gesamtsystem	407
5.4.8.2	Steuergerät	407

5.4.8.3	Bauteile	408
5.4.8.4	Funktionen	410
5.4.9	Ausblick	413
5.5	Allradantriebe, Brems- und Antriebsregelungen	414
5.5.1	Allradantriebs-Konzepte	414
5.5.1.1	Verwendung von Allradantrieben	414
5.5.1.2	Kennlinien von Allradantrieben	415
5.5.1.3	Systematik der Antriebe	416
5.5.1.4	Systemkomponenten	417
5.5.1.4.1	Zentraldifferenziale	417
5.5.1.4.2	Kupplungen mit selbsttätiger Momentenanpassung	420
5.5.1.5	Getriebeabtriebe	427
5.5.1.6	Systemauswahl	428
5.5.1.7	Einfluss auf Crashverhalten	429
5.5.1.8	Geräusch- und Schwingungstechnik Noise-Vibration-Harshness (NVH)	430
5.5.1.9	Dimensionierung	430
5.5.1.10	Allradantrieb und Regelsysteme	430
5.5.2	Antriebs- und Bremsregelung	431
5.5.2.1	Unfallvermeidende Sicherheit	431
5.5.2.2	Traktionssysteme	431
5.5.2.3	Stabilitätssysteme	431
5.5.2.3.1	Passive Systeme ASC, ASR	432
5.5.2.3.2	Aktive Systeme, DSC, ESP	433
5.5.2.3.3	Elektronisches Bremsen Management EBM	435
5.5.2.3.4	EBMx für Allradfahrzeuge	436
5.5.2.3.5	Weiterentwicklung	436
5.5.2.4	DSC, ESP mit Fremdkraft-Bremsanlage	437
5.5.2.5	Bremssysteme für Fahrzeuge mit Hybridantrieb	438
5.5.2.6	Sensorik	438
5.5.2.6.1	Raddrehzahlfühler	438
5.5.2.6.2	Fahrdynamiksensoren	439
5.6	Abgasanlagen	439
5.6.1	Aufgaben und Komponenten der Abgasanlage	439
5.6.2	Katalysatoren	441
5.6.3	Partikelfilter	442
5.6.4	Canning und Monolith-Lagerung	443
5.6.5	Schalldämpfer	446
5.6.6	Akustische Abstimmung	447
5.6.7	Körperschall	448
5.7	Bordenergie-Management	449
5.7.1	Ausgangssituation	449
5.7.2	Der Klauenpolgenerator im Energiebordnetz	450
5.7.2.1	Leistungs- und Wirkungsgradverhalten	451
5.7.2.2	Überspannungsschutz	452
5.7.2.3	Generator mit Schnittstellenregler	452

5.7.3	Elektrische Speicher im Energiebordnetz	453
5.7.3.1	Blei-Säure Batterien	453
5.7.3.1.1	Entladen von Blei-Säure-Batterien	453
5.7.3.1.2	Laden von Blei-Säure-Batterien	455
5.7.3.2	Traktionsspeicher	455
5.7.3.2.1	Aufbau und Auslegung von Traktionsbatterien	455
5.7.4	Energiebordnetze für konventionelle Fahrzeuge	456
5.7.4.1	Energiebordnetze für Start/Stopp Fahrzeuge	456
5.7.4.2	Zwei-Batterien-Bordnetze	456
5.7.4.3	Elektrisches Energiemanagement EEM in konventionellen Fahrzeugen	457
5.7.4.3.1	Ruhestrommanagement	458
5.7.4.3.2	Fahrbetrieb/Dynamisches Energiemanagement	458
5.7.4.3.3	Diagnose und Anzeige	459
5.7.4.3.4	Zusatzfunktionen	459
5.7.4.3.5	Batteriezustandserkennung/Batteriemanagement	460
5.7.4.3.6	Batteriesensor EBS	460
5.7.5	Energiebordnetze für Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang	462
5.8	Chancen und Risiken des Zweitaktmotors	463
5.8.1	Das Zweitaktverfahren	463
5.8.2	Das verwendete Konzept	463
5.8.3	Die Entwicklungsschwerpunkte	464
5.8.3.1	Abgasverhalten	464
5.8.3.2	Geräuschverhalten	465
5.8.3.3	Kraftstoffverbrauch	465
5.8.3.4	Mechanische Standfestigkeit	466
5.8.3.5	Package/Gewicht	467
5.8.3.6	Kosten	468
5.8.4	Zusammenfassung und Bewertung	469
5.9	Konventionelle und alternative Kraftstoffe und Energieträger	469
5.9.1	Marktwirtschaftliche Aspekte	471
5.9.2	Energieversorgungssicherheit	474
5.9.3	Fossile Energiequellen	474
5.9.4	Regenerative Energiequellen	477
5.9.5	Zusammenfassung	482
5.9.6	Kraftstoffsteckbriefe	483
Literatur	. . . . .	489
	Literatur zu Abschnitt 5.1.1 bis 5.1.4	489
	Literatur zu Abschnitt 5.1.5	489
	Literatur zu Abschnitt 5.2	491
	Allgemeine Literatur zu Abschnitt 5.2	492
	Literatur zu Abschnitt 5.3	492
	Literatur zu Abschnitt 5.4	492
	Literatur zu Abschnitt 5.5.1	493
	Literatur zu Abschnitt 5.5.2	494
	Literatur zu Abschnitt 5.6	494
	Literatur zu Abschnitt 5.7	495
	Literatur zu Abschnitt 5.8	495
	Literatur zu Abschnitt 5.9	495

6	Aufbau	497
6.1	Karosseriebauweisen	498
6.1.1	Selbsttragende Karosserie	498
6.1.1.1	Entwicklungsanforderungen	498
6.1.1.2	Außenhaut	498
6.1.1.2.1	Design	498
6.1.1.2.2	Aerodynamik und Aeroakustik	499
6.1.1.3	Package	500
6.1.1.4	Karosseriestruktur	502
6.1.1.4.1	Unterbau	502
6.1.1.4.2	Aufbau	504
6.1.1.4.3	Zusammenbau Seitenwand	504
6.1.1.4.4	Dach	505
6.1.1.4.5	Anbauteile	505
6.1.1.4.6	Verbindungstechnik	507
6.1.1.4.7	Materialauswahl und Leichtbau	507
6.1.1.4.8	Sicken und Verprägungen	509
6.1.1.5	Karosserieeigenschaften	509
6.1.1.5.1	Zusammenbautoleranzen	509
6.1.1.5.2	Karosseriesteifigkeiten	509
6.1.1.5.3	Aufprallverhalten	510
6.1.1.6	Ausblick	511
6.1.2	Space-Frame	511
6.1.2.1	Einleitung	511
6.1.2.2	AUDI-Space-Frame	512
6.1.2.3	Das Karosseriekonzept des ASF®	513
6.1.2.4	Der Aufbau der ASF Karosserie A8 (D3)	514
6.1.2.4.1	Fortschritte in der ASF Architektur nach sechzehn Jahren Produktionserfahrung	515
6.1.2.5	Werkstoffe und Fertigungstechnologien	516
6.1.2.5.1	Blechteile und Verfahren	516
6.1.2.5.2	Strangpressprofile und Verfahren	517
6.1.2.5.3	Gussteile und Verfahren	518
6.1.2.6	Fügeverfahren	519
6.1.2.6.1	MIG-Schweißen mit Impulslichtbogen	519
6.1.2.6.2	Stanznieten mit Halbhohl Niet	519
6.1.2.6.3	Vollstanznieten	520
6.1.2.6.4	Automatisiertes Direktverschrauben (FDS – Flow Drill Screws)	520
6.1.2.6.5	Laserstrahl-Schweißen	521
6.1.2.6.6	Laserstrahl-MIG-Hybridschweißen	521
6.1.2.6.7	Rollfalzen + Kleben	521
6.1.2.7	Reparaturkonzept	521
6.1.2.8	Energiebilanz	522
6.1.3	Karosserie Stahlleichtbau-Studien	523
6.1.3.1	Einleitung	523
6.1.3.2	Zielsetzung	524
6.1.3.3	Umsetzung	524
6.1.3.3.1	Werkstoffleichtbau	525

6.1.3.4	Fertigungsleichtbau	525
6.1.3.4.1	Innenhochdruckumformung (IHU)	525
6.1.3.4.2	Laserschweißen	526
6.1.3.4.3	Tailored blanks/Tailored tubes	527
6.1.3.4.4	Formleichtbau	527
6.1.3.5	Wirtschaftlichkeit	528
6.1.3.6	Ergebnis	529
6.1.4	Cabriolet	530
6.1.4.1	Einführung	530
6.1.4.2	Rohbau	530
6.1.4.2.1	Karosseriesteifigkeit	531
6.1.4.2.2	Karosserietilger	532
6.1.4.2.3	Betriebsfeste Auslegung von Cabrioletkarosserien	532
6.1.4.3	Sicherheitsrelevante Auslegung von Cabriolets	533
6.1.4.4	Aeroakustik	534
6.1.4.5	Türen	535
6.1.4.6	Dachsystem	535
6.1.4.6.1	Faltbares Festdach (Retractable Hardtop)	535
6.1.4.6.2	Stoffverdeck (Softtop)	536
6.1.5	Frontendmodule	538
6.1.5.1	Bestandteile von Frontendmodulen	539
6.1.5.2	Entwicklungs- und Fertigungskompetenz für Frontendmodule	539
6.1.5.3	Innovationen für Frontendmodule	540
6.2	Materialien der Karosserie	540
6.2.1	Historischer Rückblick	540
6.2.2	Konzepte und Bauweisen	541
6.2.3	Anforderungen und Auslegungskriterien an die Werkstoffe der Karosserie	543
6.2.4	Typische Karosseriewerkstoffe	546
6.2.4.1	Stahlwerkstoffe	546
6.2.4.2	Aluminiumlegierungen	548
6.2.4.3	Magnesiumlegierungen	550
6.2.4.4	Kunststoffe	550
6.2.4.4.1	Thermoplaste	553
6.2.4.4.2	Duroplaste	554
6.2.5	Sortenreine Beispiele	555
6.2.5.1	Stahl Seitenrahmen	555
6.2.5.2	Aluminium Seitentür	555
6.2.5.3	Magnesium Instrumententafelträger	555
6.2.5.4	Hardtop als Sandwichkonstruktion	555
6.2.6	Mischbauweisen	555
6.2.6.1	Mischbau in der Karosserie	555
6.2.6.2	Mischbau im Innenraum (Cockpit) und Frontendmodule	558
6.2.7	Materialspezifische Aspekte der Fertigungstechnik	562
6.2.7.1	Tailored products	562
6.2.7.2	Superplastisches Umformen (SPF)	563
6.2.7.3	Innenhochdruckumformen (IHU)	563
6.2.7.4	Folientechnik als Alternative zur Nasslackierung	564
6.2.7.5	Fügeverfahren	565

6.3	Oberflächenschutz	566
6.3.1	Nutzen des Oberflächenschutzes	567
6.3.1.1	Korrosionsschutz	567
6.3.1.2	Oberflächenschutz	568
6.3.2	Entwicklung und Produktion des Oberflächenschutzes	568
6.3.2.1	Blechvorbeschichtung	568
6.3.2.2	Maßnahmen in der Karosseriekonstruktion	569
6.3.2.3	Maßnahmen in der Produktion	570
6.3.2.3.1	Kleben und Dichten	572
6.3.2.3.2	Vorbehandlung	572
6.3.2.3.3	Elektrotauchlackierung	574
6.3.2.3.4	Grund- und Decklackierung	575
6.3.2.4	Hohlraumkonservierung und Unterbodenschutz	577
6.3.2.4.1	Hohlraumkonservierung	577
6.3.2.4.2	Unterbodenschutz	577
6.3.2.5	Transportschutz	579
6.3.3	Ausblick	579
6.4	Fahrzeuginnenraum	581
6.4.1	Ergonomie und Komfort	581
6.4.1.1	Ergonomische Anforderungen an das »Gesamtfahrzeug«	581
6.4.1.2	Ergonomische Grundausslegungen	584
6.4.1.3	Entwicklungsmethoden, Einbindung der Ergonomie in den Produktentstehungsprozess	587
6.4.1.4	Neue Entwicklungen zur Mensch-Maschine-Interaktion	591
6.4.2	Kommunikationssysteme und Navigation	593
6.4.2.1	Ziele und Lösungen	593
6.4.2.2	Rundfunkempfang	593
6.4.2.2.1	Analoger Rundfunkempfänger	593
6.4.2.2.2	RDS (Radio Data System)	595
6.4.2.2.3	TMC	595
6.4.2.3	Digitaler Rundfunkempfang	596
6.4.2.3.1	DAB	596
6.4.2.3.2	DRM (Digital Radio Mondiale)	596
6.4.2.3.3	Satellitenradio	596
6.4.2.4	Mobilfunk im Kfz	597
6.4.2.4.1	UMTS	598
6.4.2.4.2	Handys im Fahrzeug	598
6.4.2.4.3	Internet Dienste im Fahrzeug	598
6.4.2.5	Bakenkommunikation	598
6.4.2.6	Fahrzeug-Fahrzeug und Fahrzeug Infrastruktur Kommunikation	599
6.4.2.7	Navigation	599
6.4.2.8	Digitale Karte	600
6.4.2.8.1	Dynamische Navigation	601
6.4.2.8.2	Fahrerinformationssysteme	602
6.4.3	Innenraumbehaglichkeit/Thermischer Komfort	602
6.4.3.1	Komfortbedürfnisse der Fahrzeuginsassen	602
6.4.3.2	Funktionen und Aufbau von Klimageräten	603
6.4.3.2.1	Funktionen des Klimagerätes – Luft fördern	605
6.4.3.2.2	Funktionen des Klimagerätes – Luft reinigen	606

6.4.3.2.3	Funktionen des Klimagerätes – Luft temperieren und entfeuchten	607
6.4.3.2.4	Funktionen des Klimagerätes – Luft verteilen	609
6.4.3.2.5	Bauformen von Klimageräten	609
6.4.3.2.6	Mehrzonigkeit und Zusatzgeräte	610
6.4.3.3	Steuerung und Regelung von Klimaanlage	611
6.4.3.3.1	Regelung und Automatisierungsgrade	611
6.4.3.3.2	Bedienung	611
6.4.3.3.3	Aktuatorik, Sensorik	612
6.4.4	Fahrzeuginnenausstattung	613
6.4.4.1	Zur Geschichte des Innenraums	613
6.4.4.2	Anforderungen an Innenraum und Komponenten	613
6.4.4.2.1	Optik	613
6.4.4.2.2	Olfaktorik	614
6.4.4.2.3	Ergonomie	614
6.4.4.2.4	Haptik	615
6.4.4.2.5	Akustik	615
6.4.4.2.6	Sicherheit	615
6.4.4.2.7	Thermischer Komfort	616
6.4.4.3	Baugruppen des Innenraums	616
6.4.4.3.1	Cockpit/Tunnelkonsole	616
6.4.4.3.2	Sitze	617
6.4.4.3.3	Tür-, Seitenverkleidungen	619
6.4.4.3.4	Dachhimmel, Säulenverkleidung	620
6.4.4.3.5	Gepäckraum/Laderaum	620
6.4.4.3.6	Bodenverkleidung, Akustik	621
6.4.4.4	Entwicklungsablauf Innenraum	621
6.4.4.4.1	Lastenheft	621
6.4.4.4.2	Berechnung/Digital Mockup	622
6.4.4.4.3	Teilekonstruktion	623
6.4.4.4.4	Datenkontrollmodelle	623
6.4.4.4.5	Prototypen/Testing	623
6.4.4.4.6	Serienproduktion/Montage	623
6.4.4.4.7	Variantenmanagement	624
6.4.4.5	Ausblick	624
6.5	Wischer- und Waschanlagen	624
Literatur	. . . . .	625
Literatur zu Abschnitt 6.1.1	. . . . .	625
Literatur zu Abschnitt 6.1.2	. . . . .	625
Literatur zu Abschnitt 6.1.3	. . . . .	626
Weiterführende Literatur zu Abschnitt 6.1.3	. . . . .	626
Literatur zu Abschnitt 6.1.4	. . . . .	626
Literatur zu Abschnitt 6.1.5	. . . . .	626
Literatur zu Abschnitt 6.2	. . . . .	626
Literatur zu Abschnitt 6.3	. . . . .	627
Literatur zu Abschnitt 6.4.1	. . . . .	628
Literatur zu Abschnitt 6.4.2	. . . . .	629
Literatur zu Abschnitt 6.4.3	. . . . .	629

Literatur zu Abschnitt 6.4.4	629
Literatur zu Abschnitt 6.5	630
7 Fahrwerk	631
7.1 Einführung	632
7.1.1 Definition des Begriffs Fahrwerk	632
7.1.2 Aufgaben des Fahrwerks	632
7.1.3 Fahrdynamik und Fahrwerkskräfte	634
7.1.3.1 Querdynamik: Fahrwerkskräfte in Querrichtung	634
7.1.3.1.1 Lenken der Räder	635
7.1.3.1.2 Querverschiebung des Radaufstandspunktes	636
7.1.3.1.3 Stabilisieren des Fahrzeugs auf einer vorgegebenen Bahn	637
7.1.3.2 Längsdynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeuginnenrichtung	637
7.1.3.3 Vertikaldynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeughochrichtung	639
7.1.4 Basis-Zielkonflikte	640
7.1.5 Ausblick	641
7.2 Bremssysteme	643
7.2.1 Einführung	643
7.2.2 Auslegung von Bremssystemen	643
7.2.2.1 Physikalische Grundlagen	644
7.2.2.2 Bremskraftverteilung	646
7.2.2.3 Bremspedalcharakteristik	647
7.2.2.4 Thermische Dimensionierung	648
7.2.2.5 Auslegungsaspekte bei regenerativen Bremssystemen	650
7.2.3 Bremssystemkomponenten	650
7.2.3.1 Bremspedal	652
7.2.3.2 Bremskraftverstärker	652
7.2.3.3 Vakuumpumpe	652
7.2.3.4 (Tandem)-Hauptzylinder	654
7.2.3.5 Ausgleichbehälter	654
7.2.3.6 Bremsflüssigkeit	655
7.2.3.7 Bremsleitungen und -schläuche	655
7.2.3.8 Bremskraftverteiler	656
7.2.3.9 Hydraulisch/Elektronische Regeleinheit (HECU)	657
7.2.3.10 Scheibenbremsen	659
7.2.3.11 Bremsscheiben	663
7.2.3.12 Bremsbeläge	664
7.2.3.13 Trommelbremsen	665
7.2.4 Sensoren	667
7.2.4.1 Betätigungswegsensor	667
7.2.4.2 Raddrehzahlsensor	667
7.2.4.3 Beschleunigungssensor (längs und quer)	668
7.2.4.4 Gierratensensor	668
7.2.4.5 Lenkradwinkelsensor	669
7.2.4.6 Drucksensor	670
7.2.4.7 Abstandssensoren	670

7.2.5	Bremsenfunktionen und Assistenzsysteme	670
7.2.5.1	Antiblockiersystem (ABS)	670
7.2.5.2	Elektronische Bremskraftverteilung (EBV)	676
7.2.5.3	Erweitertes Stabilitäts-Bremssystem (ABSplus)	676
7.2.5.4	Antriebsschlupfregelung (ASR)	677
7.2.5.5	Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP/DSC/VSC)	678
7.2.5.6	Bremsassistent (MBA, EBA, HBA)	679
7.2.5.7	Bremskraftverstärkerunterstützung	680
7.2.5.8	Active Rollover Protection (ARP)	681
7.2.5.9	Abstandsregelsysteme	681
7.2.5.10	Elektrische Feststellbremse (Parkbremse) EPB	681
7.2.6	Neue und zukünftige Systemarchitekturen	684
7.2.6.1	Elektrohydraulisches Bremssystem (EHB)	684
7.2.6.2	Regeneratives Bremsen	685
7.2.6.3	Elektrisch-Hydraulische Combi Bremse (EHCB)	686
7.2.6.4	Vernetztes Chassis	688
7.2.6.5	Elektromechanisches Bremssystem (EMB)	689
7.2.6.6	Elektro-Hydraulische Bremsbetätigung	691
7.2.6.7	Ausblick	691
7.3	Reifen, Räder, Gleitschutzketten	692
7.3.1	Einführung	692
7.3.2	Reifenaufbau	693
7.3.3	Anforderungen an Reifen	693
7.3.3.1	Gebrauchseigenschaften	694
7.3.3.2	Gesetzliche Anforderungen	697
7.3.3.3	Reifen und Räder, Normung	698
7.3.3.4	Reifenkennzeichnung, EU-Label	698
7.3.4	Kraftübertragung Reifen–Fahrbahn	700
7.3.4.1	Tragverhalten	700
7.3.4.2	Kraftschlussverhalten, Aufbau von Horizontalkräften	700
7.3.4.3	Antreiben und Bremsen; Umfangskräfte	702
7.3.4.4	Schräglauf; Kräfte und Momente	703
7.3.4.5	Reifen unter Quer- und Längsschlupf	705
7.3.4.6	Reifengleichförmigkeit	706
7.3.5	Reifen als integraler Baustein des Gesamtsystems Fahrzeug	707
7.3.5.1	Reifenmechanik, Materialeigenschaften	707
7.3.5.2	Reifenmodelle	709
7.3.5.3	Gesamtmodelle	709
7.3.5.4	Beschreibung des Fahrverhaltens	710
7.3.5.5	Synergien zwischen Reifen und anderen Systemkomponenten	710
7.3.5.6	Reifensysteme mit Notlaufeigenschaften	710
7.3.6	Zukünftige Reifentechnologien	711
7.3.6.1	Reifenbezogene Zusatzprodukte	711
7.3.6.2	Reifendruckkontrolle	711
7.3.6.3	Auf Reifen abgestimmte Komponenten im Fahrwerk	712
7.3.6.4	Materialentwicklung	712
7.3.6.5	Reifen mit erweiterten Funktionen	713

7.3	Räder	713
7.3.1	Einführung/Historie	713
7.3.2	Normung/Terminologie	714
7.3.3	Wesentliche Herstellverfahren	714
7.3.4	Serieneinsatz (Marktanteile heute und in Zukunft)	714
7.3.5	Entwicklungs-Methodik	714
7.3.5.1	CAD Konstruktion	714
7.3.5.2	Finite Elemente Analyse	714
7.3.5.3	Prüfstandserprobung	715
7.3.5.4	Fahrerprobung im Rahmen der Fahrzeugentwicklung (Dauerläufer)	718
7.3.5.5	Entwicklungstendenzen zur Methodik	718
7.3.6	Fertigungsverfahren – Weiterentwicklung	719
7.3.6.1	Stahlrad	719
7.3.6.2	Leichtmetallrad	719
7.3.6.3	Kunststoff-Rad (Composite-Rad)	721
7.3.7	Gewichtsrelationen	721
7.3.7.8	Größenrelationen	721
7.3.7.9	Rad/Reifen – Besondere Aspekte	721
7.3.7.10	Energiebetrachtung bei Herstellung/Recycling	722
7.3.7.11	Umweltschonung	722
7.3.8	Gleitschutzketten	723
7.3.8.1	Einleitung	723
7.3.8.2	Wirkungsprinzip von Gleitschutzketten	723
7.3.8.3	Aufbau von Gleitschutzketten	723
7.3.8.3.1	Laufnetzformen	723
7.3.8.3.2	Greifelemente	723
7.3.8.3.3	Dimensionierung	724
7.3.8.4	Kraftübertragung Kette–Fahrbahn	724
7.3.8.5	Montagesysteme	725
7.4	Fahrwerksauslegung	726
7.4.1	Kinematik der Radaufhängung	726
7.4.1.1	Radhubkinematik	727
7.4.1.2	Lenkkinematik	729
7.4.2	Elastokinematik	730
7.4.2.1	Wirkung von Bauteilelastizitäten	730
7.4.2.2	Elastomerlager	731
7.4.2.3	Wirkung äußerer Kräfte	738
7.4.3	Radaufhängungen	742
7.4.3.1	Starrachsen	743
7.4.3.2	Einzelradaufhängungen	744
7.4.3.3	Verbundachsen	748
7.4.4	Federung, Dämpfung, Stabilisatoren	749
7.4.4.1	Tragfeder	749
7.4.4.2	Stabilisierung	752
7.4.4.3	Schwingungsdämpfung	754
7.4.4.4	Vertikaldynamiksysteme	757
7.4.4.5	Ausblick	762

7.4.5	Lenkung	763
7.4.5.1	Lenkungs kinematik	763
7.4.5.2	Lenkgetriebe und -gestänge	773
7.4.5.3	Lenkunterstützung	776
7.4.6	Aktive Lenksysteme	782
7.4.6.1	Einleitung	782
7.4.6.2	Aktive Vorderradlenkungen	783
7.4.6.2.1	Aktive Servolenkungen	783
7.4.6.2.2	Lenkungen mit aktiv veränderlicher Übersetzung	783
7.4.6.2.3	Überlagerungslenkungen	784
7.4.6.2.4	Integration von Überlagerungslenkung und geregelter Servolenkung	786
7.4.6.2.5	»Steer by wire«-Lenksysteme	787
7.4.6.3	Aktive Hinterradlenkungen	788
7.4.6.3.1	Hinterradlenkungen ohne fahrdynamische Regelung	791
7.4.6.3.2	Hinterradlenkungen mit fahrdynamischer Regelung	792
7.4.6.4	Aktive geregelte Vorder- und Hinterachslenksysteme	794
7.5	Beurteilungskriterien	795
7.5.1	Subjektive Fahreigenschaftsbeurteilung	795
7.5.2	Objektive Fahreigenschaftsbeurteilung	796
7.5.2.1	Geradeausfahrt	798
7.5.2.2	Kurvenverhalten	799
7.5.2.3	Übergangsverhalten	800
7.5.2.4	Weitere Testverfahren	802
7.5.2.5	Ausblick	803
7.6	Kraftstoffsystem	804
7.6.1	Gesetzliche und kundenspezifische Vorschriften	804
7.6.1.1	Gesetzliche Vorschriften	804
7.6.1.2	Kundenspezifische Anforderungen	807
7.6.2	Anordnung im Fahrzeug	807
7.6.3	Systemvarianten	808
7.6.3.1	Externes Ausgleichsvolumen	808
7.6.3.2	Internes Ausgleichsvolumen	808
7.6.3.3	Auslegungskriterien	809
7.6.4	Kraftstoff-Behälter	809
7.6.4.1	Metall-Kraftstoff-Behälter	809
7.6.4.2	Kunststoff-Kraftstoff-Behälter	809
7.6.5	Fördersysteme	811
7.6.5.1	Förderung des Kraftstoffs	811
7.6.5.2	Elektro-Kraftstoff-Pumpe (EKP) und deren Anordnung	811
7.6.5.3	Pumpenanordnungen	812
7.6.5.4	Anforderungen zur elektrischen/elektronischen Systemeinbindung	812
7.6.5.5	Elektro-Kraftstoff-Pumpen-Regelung	813
7.6.5.6	Saugstrahlpumpe	813
7.6.5.7	Schwalltopf	813
7.6.6	Filtrierung des Kraftstoffs	814
7.6.7	Volumen-Messeinrichtung	814
7.6.7.1	Hebelgeber	815
7.6.7.2	Tauchrohrgeber	815

7.6.8	Aktivkohlefilter (AKF)	815
7.6.9	Besondere Anforderungen an die KVA bei hybridisierten Fahrzeugen	816
7.6.10	Ausblick	817
7.7	Kraftstoffversorgungsanlagen für alternative Energieträger	817
7.7.1	Anforderungen	817
7.7.2	Gesetzliche Vorschriften	818
7.7.3	Anordnung im Fahrzeug	818
7.7.4	Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für Druckgas	819
7.7.4.1	Kraftstoffbehälter	819
7.7.4.2	Kraftstoffsysteme	820
7.7.5	Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für tiefkalt flüssige Gase	821
7.7.5.1	Kraftstoffbehälter	821
7.7.5.2	Kraftstoffsysteme	822
7.7.6	Entwicklungstendenzen	822
Literatur		824
	Literatur zu Abschn. 7.1	824
	Literatur zu Abschn. 7.2	824
	Literatur zu Abschn. 7.3	825
	Literatur zu Abschn. 7.4	827
	Literatur zu Abschn. 7.5	830
	Literatur zu Abschn. 7.6	831
	Literatur zu Abschn. 7.7	831
8	Elektrik/Elektronik/Software	833
8.1	Bedeutung Elektrik/Elektronik/Software für das Automobil	834
8.1.1	Einleitung	834
8.1.2	Neue Anforderungen an Entwicklungsprozess und Technologie	835
8.1.3	Systems Engineering	837
8.1.3.1	Eigenschaften des Entwicklungsprozesses	837
8.1.3.2	Systemintegration	840
8.1.4	Neues Technologiekonzept: AUTOSAR	842
8.1.5	Ausblick	845
8.2	Das Bordnetz	845
8.2.1	Bestandteile des Bordnetzes	845
8.2.1.1	Übersicht	845
8.2.1.2	Randbedingungen	847
8.2.1.3	Leitungen	847
8.2.1.4	Knotenpunkte	848
8.2.1.5	Sicherungen	849
8.2.1.6	Steckverbindungen	850
8.2.1.7	Kontakte	852
8.2.2	Auslegungskriterien	853
8.2.2.1	Bestandteile einer qualitätsorientierten Bordnetzauslegung	853
8.2.2.2	Leitungsstrangfertigung	855
8.2.2.3	Variantenbildung	857
8.2.2.4	Logistik und Fahrzeugmontage	858

8.2.3	Architektur des Bordnetzes	860
8.2.3.1	Topologie, Koppel- und Trennstellen	860
8.2.3.2	Ausstattungsvarianten	861
8.2.3.3	Systemarchitekturen	861
8.2.3.4	Energieversorgung und Absicherung	863
8.2.3.5	Bordnetzstabilisierung	865
8.2.3.6	Bordnetzspannungen	867
8.2.3.7	Hochvoltbordnetze	868
8.2.4	Der Bordnetz-Entwicklungsprozess	870
8.2.4.1	Abläufe	870
8.2.4.2	CAE und CAD-Werkzeuge	872
8.2.4.3	Lieferantenstruktur	874
8.2.5	Entwicklungstrends	876
8.3	Kommunikationsbordnetze	877
8.3.1	Einleitung	877
8.3.2	Kabelgebundene Bordnetze	878
8.3.2.1	Elektrische Kommunikationsbordnetze	879
8.3.2.2	Optische Kommunikationsbordnetze	881
8.3.3	Drahtlose Kommunikationsbordnetze	882
8.3.4	Zusammenfassung und Ausblick	885
8.4	Elektromagnetische Verträglichkeit – EMV	886
8.4.1	Eigenentstörung	886
8.4.2	Störfestigkeit gegen externe elektromagnetische Felder	888
8.4.3	Fernentstörung	888
8.4.4	Normen und Richtlinien	889
8.4.5	Sicherstellung der EMV	890
8.5	Funktionsdomänen	890
8.5.1	Einleitung	890
8.5.2	Beleuchtung	890
8.5.2.1	Zulassung	890
8.5.2.2	Lichttechnische Begriffe	891
8.5.2.3	Scheinwerfer	891
8.5.2.3.1	Historische Entwicklung	891
8.5.2.3.2	Scheinwerferarten	892
8.5.2.3.3	Reflektortechnologie	892
8.5.2.3.4	Abschlusscheibe	894
8.5.2.3.5	Scheinwerfer-Einstellung	894
8.5.2.3.6	Scheinwerfer-Lichtquellen	895
8.5.2.3.7	Xenonlicht	896
8.5.2.4	Bi-Xenon	898
8.5.2.5	Lichtbewertung	898
8.5.2.6	Tagfahrlicht und Positionslicht	899
8.5.2.7	Zusatzscheinwerfer	900
8.5.2.8	Intelligente Scheinwerfer	900
8.5.2.9	LED Scheinwerfer	902
8.5.2.10	Signalleuchten	903
8.5.2.11	Lichtquellen für Signalleuchten	904
8.5.2.12	Bauformen	905

8.5.2.13	Dynamisches Bremslicht und Leuchten-Zukunftsentwicklungen	905
8.5.2.14	Innenbeleuchtung und Einstiegsleuchten	906
8.5.2.15	Beleuchtungsstyling	906
8.5.3	Cockpit-Instrumentierung	906
8.5.3.1	Einleitung	906
8.5.3.2	Informationsdarstellung	907
8.5.3.2.1	Kombinations-Instrument	907
8.5.3.2.2	LC-Displays im Kombinations-Instrument	908
8.5.3.2.3	Weitere Display-Arten im Cockpit	908
8.5.3.2.4	Head-up-Display (HUD)	908
8.5.3.3	Eingabeelemente	909
8.5.3.4	Ausblick	910
8.5.4	Infotainment/Multimedia	910
8.5.4.1	Einleitung	910
8.5.4.2	Broadcasting	911
8.5.4.2.1	Audio Broadcasting	911
8.5.4.2.2	Video Broadcasting	912
8.5.4.3	Medien	913
8.5.4.3.1	Interne Medienquellen	913
8.5.4.3.2	Connectivity	914
8.5.4.4	HMI	917
8.5.4.4.1	Anzeigeelemente	917
8.5.4.4.2	Bedienelemente	918
8.5.4.4.3	Spracherkennung	918
8.5.4.5	Architektur	919
8.5.4.5.1	Hardwarearchitektur im Fahrzeug	919
8.5.4.5.2	Infotainment-Hardwarearchitekturen	921
8.5.4.5.3	Infotainment-Softwarearchitekturen	923
8.5.4.6	Ausblick	924
8.5.4.7	Fahrzeugantennen	924
8.5.5	Fahrerassistenzsysteme	929
8.5.5.1	Unfallursachen und Fahrerassistenzsysteme zu ihrer Vermeidung	929
8.5.5.2	Fahrerassistenz	930
8.5.5.3	Fahrzeugkommunikationssysteme	931
8.5.5.4	Fahrerassistenzsysteme zur Fahrzeugstabilisierung	931
8.5.5.5	Prädiktive Fahrerassistenzsysteme	931
8.5.5.5.1	Sensoren für Fahrerassistenzsysteme	931
8.5.5.5.2	Ultranahbereichssensoren in Ultraschalltechnik	932
8.5.5.5.3	Fernbereichsradar 77 GHz	933
8.5.5.5.4	Fernbereichslidar	933
8.5.5.5.5	Nahbereichssensoren	933
8.5.5.5.6	Video Sensor	934
8.5.5.6	Fahrerassistenzsysteme für Komfort und Sicherheit	934
8.5.5.6.1	Einparkhilfe-Systeme	934
8.5.5.6.2	Adaptive Cruise Control (ACC)	935
8.5.5.6.3	Prädiktive Sicherheitssysteme (Predictive Safety Systems, PSS)	936
8.5.5.6.4	Bildgebende Video Systeme	938
8.5.5.6.5	Videosysteme mit Bildverarbeitung	940