

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>Kapitel, Beiträge und Mitarbeiter</b> . . . . .	XXXVIII
<b>Firmen- und Institutionenverzeichnis</b> . . . . .	XLIII
<b>Autorenverzeichnis</b> . . . . .	XLVII
<b>1 Mobilität</b> . . . . .	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
<b>2 Anforderungen, Zielkonflikte</b> . . . . .	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

VIII	Inhaltsverzeichnis	
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, Wegfahrsperre, 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 <sub>1</sub> -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
<b>3</b>	<b>Fahrzeugphysik . . . . .</b>	<b>47</b>
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

<b>3.2</b>	<b>Aerodynamik</b>	<b>53</b>
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
<b>3.3</b>	<b>Wärmetechnik</b>	<b>64</b>
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
<b>3.4</b>	<b>Akustik und Schwingungen</b>	<b>83</b>
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
<b>4</b>	<b>Formen und neue Konzepte . . . . .</b>	<b>119</b>
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 Antriebsstrangkonzepte . . . . .	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	Wärmekraftmaschinen . . . . .	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 <sub>2</sub> -Brennverfahren mit äußerer Gemischbildung . . . . .	212
4.3.5.3	H <sub>2</sub> -Brennverfahren mit innerer Gemischbildung . . . . .	213
4.3.5.4	Wirkungsgradpotenziale . . . . .	213
4.3.5.5	H <sub>2</sub> -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
<b>5</b>	<b>Antriebe . . . . .</b>	<b>221</b>
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 Motormechanik . . . . .	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	Motorschmierng . . . . .	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 <sub>x</sub> -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 Zündverzög . . . . .	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	Vorkammerv Verfahren . . . . .	310
5.2.5.3	Wirbelkammerv Verfahren . . . . .	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 DownsPEEDING . . . . .	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	Dieselmotorkraftstoffe . . . . .	337
5.2.9	Regelung . . . . .	339
5.2.10	Die Zukunft des Dieselmotors . . . . .	340
5.3	<b>Aufladung</b> . . . . .	350
5.3.1	Hintergrund . . . . .	350
5.3.2	Aufladeprinzip . . . . .	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	<b>Triebstrang</b> . . . . .	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	Getriebebeschaltung . . . . .	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	<b>Allradantriebe, Brems- und Antriebsregelungen</b> . . . . .	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	Unfallvorbeugende 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	<b>Abgasanlagen</b> . . . . .	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	<b>Bordenergie-Management</b> . . . . .	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	Traktionspeicher . . . . .	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

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

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	<b>Materialien der Karosserie</b> . . . . .	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	<b>Materialspezifische Aspekte der Fertigungstechnik</b> . . . . .	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

<b>6.3</b>	<b>Oberflächenschutz</b>	<b>566</b>
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 Grundaussagen	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 Wascheranlagen . . . . .	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
<b>7      Fahrwerk . . . . .</b>	<b>631</b>
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	Schräglaufl; 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

7.3.7	Räder . . . . .	713
7.3.7.1	Einführung/Historie . . . . .	713
7.3.7.2	Normung/Terminologie . . . . .	714
7.3.7.3	Wesentliche Herstellverfahren . . . . .	714
7.3.7.4	Serieneinsatz (Marktanteile heute und in Zukunft) . . . . .	714
7.3.7.5	Entwicklungs-Methodik . . . . .	714
7.3.7.5.1	CAD Konstruktion . . . . .	714
7.3.7.5.2	Finite Elemente Analyse . . . . .	714
7.3.7.5.3	Prüfstandserprobung . . . . .	715
7.3.7.5.4	Fahrerprobung im Rahmen der Fahrzeugentwicklung (Dauerläufer) . . . . .	718
7.3.7.5.5	Entwicklungstendenzen zur Methodik . . . . .	718
7.3.7.6	Fertigungsverfahren – Weiterentwicklung . . . . .	718
7.3.7.6.1	Stahlrad . . . . .	718
7.3.7.6.2	Leichtmetallrad . . . . .	719
7.3.7.6.3	Kunststoff-Rad (Composite-Rad) . . . . .	720
7.3.7.7	Gewichtsrelationen . . . . .	720
7.3.7.8	Größenrelationen . . . . .	721
7.3.7.9	Rad/Reifen – Besondere Aspekte . . . . .	721
7.3.7.10	Energiebetrachtung bei Herstellung/Recycling . . . . .	721
7.3.7.11	Umweltschonung . . . . .	722
7.3.8	Gleitschutzketten . . . . .	722
7.3.8.1	Einleitung . . . . .	722
7.3.8.2	Wirkungsprinzip von Gleitschutzketten . . . . .	722
7.3.8.3	Aufbau von Gleitschutzketten . . . . .	722
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 . . . . .	726
7.4.1.2	Lenkkinematik . . . . .	729
7.4.2	Elastokinematik . . . . .	729
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 . . . . .	741
7.4.3.1	Starrachsen . . . . .	743
7.4.3.2	Einzelradaufhängungen . . . . .	743
7.4.3.3	Verbundachsen . . . . .	747
7.4.4	Federung, Dämpfung, Stabilisatoren . . . . .	748
7.4.4.1	Tragfeder . . . . .	748
7.4.4.2	Stabilisierung . . . . .	751
7.4.4.3	Schwingungsdämpfung . . . . .	753
7.4.4.4	Vertikaldynamiksysteme . . . . .	756
7.4.4.5	Ausblick . . . . .	761

7.4.5	Lenkung . . . . .	762
7.4.5.1	Lenkungs kinematik . . . . .	762
7.4.5.2	Lenkgetriebe und -gestänge . . . . .	772
7.4.5.3	Lenkunterstützung . . . . .	775
7.4.6	Aktive Lenksysteme . . . . .	781
7.4.6.1	Einleitung . . . . .	781
7.4.6.2	Aktive Vorderradlenkungen . . . . .	782
7.4.6.2.1	Aktive Servolenkungen . . . . .	782
7.4.6.2.2	Lenkungen mit aktiv veränderlicher Übersetzung . . . . .	782
7.4.6.2.3	Überlagerungslenkungen . . . . .	783
7.4.6.2.4	Integration von Überlagerungslenkung und geregelter Servolenkung . . . . .	785
7.4.6.2.5	»Steer by wire«-Lenksysteme . . . . .	786
7.4.6.3	Aktive Hinterradlenkungen . . . . .	787
7.4.6.3.1	Hinterradlenkungen ohne fahrdynamische Regelung . . . . .	790
7.4.6.3.2	Hinterradlenkungen mit fahrdynamischer Regelung . . . . .	791
7.4.6.4	Aktive geregelte Vorder- und Hinterachslenksysteme . . . . .	793
7.5	Beurteilungskriterien . . . . .	794
7.5.1	Subjektive Fahreigenschaftsbeurteilung . . . . .	794
7.5.2	Objektive Fahreigenschaftsbeurteilung . . . . .	795
7.5.2.1	Geradeausfahrt . . . . .	797
7.5.2.2	Kurvenverhalten . . . . .	798
7.5.2.3	Übergangsverhalten . . . . .	799
7.5.2.4	Weitere Testverfahren . . . . .	801
7.5.2.5	Ausblick . . . . .	802
7.6	Kraftstoffsystem . . . . .	803
7.6.1	Gesetzliche und kundenspezifische Vorschriften . . . . .	803
7.6.1.1	Gesetzliche Vorschriften . . . . .	803
7.6.1.2	Kundenspezifische Anforderungen . . . . .	806
7.6.2	Anordnung im Fahrzeug . . . . .	806
7.6.3	Systemvarianten . . . . .	807
7.6.3.1	Externes Ausgleichsvolumen . . . . .	807
7.6.3.2	Internes Ausgleichsvolumen . . . . .	807
7.6.3.3	Auslegungskriterien . . . . .	808
7.6.4	Kraftstoff-Behälter . . . . .	808
7.6.4.1	Metall-Kraftstoff-Behälter . . . . .	808
7.6.4.2	Kunststoff-Kraftstoff-Behälter . . . . .	808
7.6.5	Fördersysteme . . . . .	810
7.6.5.1	Förderung des Kraftstoffs . . . . .	810
7.6.5.2	Elektro-Kraftstoff-Pumpe (EKP) und deren Anordnung . . . . .	810
7.6.5.3	Pumpenanordnungen . . . . .	811
7.6.5.4	Anforderungen zur elektrischen/elektronischen Systemeinbindung . . . . .	811
7.6.5.5	Elektro-Kraftstoff-Pumpen-Regelung . . . . .	812
7.6.5.6	Saugstrahlpumpe . . . . .	812
7.6.5.7	Schwalltopf . . . . .	812
7.6.6	Filtrierung des Kraftstoffs . . . . .	813
7.6.7	Volumen-Messeinrichtung . . . . .	813
7.6.7.1	Hebelgeber . . . . .	814
7.6.7.2	Tauchrohrgeber . . . . .	814

7.6.8	Aktivkohlefilter (AKF)	814
7.6.9	Besondere Anforderungen an die KVA bei hybridisierten Fahrzeugen	815
7.6.10	Ausblick	816
7.7	Kraftstoffversorgungsanlagen für alternative Energieträger	816
7.7.1	Anforderungen	816
7.7.2	Gesetzliche Vorschriften	817
7.7.3	Anordnung im Fahrzeug	817
7.7.4	Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für Druckgas	818
7.7.4.1	Kraftstoffbehälter	818
7.7.4.2	Kraftstoffsysteme	819
7.7.5	Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für tiefkalt flüssige Gase	820
7.7.5.1	Kraftstoffbehälter	820
7.7.5.2	Kraftstoffsysteme	821
7.7.6	Entwicklungstendenzen	821
Literatur		823
Literatur zu Abschn. 7.1		823
Literatur zu Abschn. 7.2		823
Literatur zu Abschn. 7.3		824
Literatur zu Abschn. 7.4		826
Literatur zu Abschn. 7.5		829
Literatur zu Abschn. 7.6		830
Literatur zu Abschn. 7.7		830
<b>8</b>	<b>Elektrik/Elektronik/Software</b>	<b>833</b>
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	Leistungsstrangfertigung	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	Abschluss Scheibe . . . . .	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

8.5.5.7	Adaptive Systeme . . . . .	943
8.5.5.8	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	944
8.5.6	Telematik . . . . .	945
8.5.6.1	Grundlagen und Technologien der Verkehrstelematik . . . . .	946
8.5.6.2	Endgeräte . . . . .	949
8.5.6.3	Dienstleistungen der Zukunft . . . . .	949
8.6	Mensch-Maschine-Interaktion . . . . .	951
8.6.1	Das System Fahrer–Fahrzeug . . . . .	953
8.6.2	Informationsvermittlung . . . . .	955
8.6.3	Ein einfaches kognitives Fahrermodell . . . . .	956
8.6.4	Messung der Leistung, Belastung und Beanspruchung . . . . .	958
8.6.5	Simulation . . . . .	958
8.7	Software . . . . .	960
8.7.1	Vorbemerkungen zum Thema Software . . . . .	960
8.7.2	Softwareentwicklungsprozess . . . . .	961
8.7.2.1	Einbettung in den Systementwicklungsprozess . . . . .	961
8.7.2.2	Anforderungsanalyse und -spezifikation . . . . .	962
8.7.2.3	Design und Architektur . . . . .	962
8.7.2.4	Implementierung und Modultest . . . . .	963
8.7.2.5	Integration . . . . .	963
8.7.2.6	Validierung und Verifikation . . . . .	963
8.7.2.7	Produktion und Wartung . . . . .	964
8.7.3	Erfolgsfaktoren . . . . .	964
8.7.3.1	Modellbildung . . . . .	964
8.7.3.2	Mensch-Maschine-Interaktion . . . . .	964
8.7.3.3	Qualitätssicherung . . . . .	965
8.7.4	Entkopplung von Infrastruktur und Plattformen . . . . .	965
8.7.5	Produktlinien . . . . .	966
8.7.6	Anwendungsfelder . . . . .	966
8.7.6.1	Fahrerassistenzsysteme . . . . .	967
8.7.6.2	Infotainment . . . . .	967
8.7.6.3	Karosserie- und Komfortfunktionen . . . . .	968
8.7.6.4	Sicherheitsfunktionen . . . . .	968
8.7.7	Technische Herausforderungen zur Software im Fahrzeug . . . . .	968
8.7.7.1	Zuverlässigkeit . . . . .	968
8.7.7.2	Wartung und Logistik . . . . .	969
8.7.7.3	Vernetzung . . . . .	969
8.7.7.4	Multiplexing, Zeitbeherrschung und Determinismus . . . . .	970
8.7.7.5	Funktionale Sicherheit . . . . .	970
8.7.7.6	IT-Security . . . . .	970
8.7.8	Potenzial . . . . .	971
8.7.9	Organisatorische Herausforderungen . . . . .	971
8.7.9.1	Prozesse . . . . .	971
8.7.9.2	Auswirkungen und langfristige Perspektiven . . . . .	972



<b>8.8</b>	<b>Moderne Methoden der Regelungstechnik</b>	<b>972</b>
8.8.1	Anforderungen an Regelsysteme im Kraftfahrzeug	972
8.8.2	Moderne Reglerentwurfverfahren	973
8.8.2.1	Adaptive Regelung	973
8.8.2.2	Fuzzy-Regelung	974
8.8.2.3	$\Gamma$ -Synthese	974
8.8.2.4	Neuronale Regelung	975
8.8.2.5	Norm-optimale Regelung	975
8.8.2.6	Prädiktive Regelung	976
8.8.2.7	Quantitative Feedback Theory (QFT)	976
8.8.3	Evaluierung moderner Regelungsverfahren	977
8.8.4	Ausblick	978
<b>Literatur</b>		<b>979</b>
	Literatur zu Abschn. 8.1	979
	Ergänzende Literatur zum Thema Bordnetz	980
	Literatur zu Abschn. 8.3	980
	Weitere Informationen	980
	Literatur zu Abschn. 8.4	980
	Literatur zu Abschn. 8.5	981
	Literatur zu Abschn. 8.6	982
	Literatur zu Abschn. 8.7	983
	Literatur zu Abschn. 8.8	983
<b>9</b>	<b>Fahrzeugsicherheit</b>	<b>985</b>
9.1	Allgemein	986
9.2	Gebiete der Fahrzeugsicherheit	986
9.3	Ergebnisse aus der Unfallforschung	988
9.3.1	Einleitung	988
9.3.2	Amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik	988
9.3.3	Verkehrsunfalldaten der Versicherungen	989
9.3.4	»In-Depth« Unfallerehebungen	989
9.4	Unfallvermeidende Sicherheit	993
9.4.1	Assistenzsysteme der Fahrzeugebene	994
9.4.2	Assistenzsysteme mit Umfeldsensorik	995
9.4.2.1	Systeme der Längsführung	995
9.4.2.2	Systeme der Querführung	995
9.4.2.3	Nachtassistentz	997
9.5	Biomechanik und Schutzkriterien	998
9.5.1	Biomechanik	998
9.5.1.1	Grundlagen	998
9.5.1.2	Belastungsgrenzen	999
9.5.2	Schutzkriterien	1000
9.5.3	Simulationseinrichtungen	1002
9.5.3.1	Kopf	1002
9.5.3.2	Bein, Hüfte	1002
9.5.3.3	Rumpf	1002
9.5.3.4	Gesamtkörper	1002

<b>9.6</b>	<b>Quasistatische Anforderungen an die Karosserie</b>	<b>1003</b>
9.6.1	Sitz- und Sicherheitsgurtverankerungspunkttests	1003
9.6.2	Dachfestigkeit	1003
9.6.3	Seitenstruktur	1003
<b>9.7</b>	<b>Dynamische Fahrzeugkollision</b>	<b>1004</b>
9.7.1	Frontale Kollision	1004
9.7.2	Seitliche Kollisionen	1007
9.7.3	Heckkollision	1007
9.7.4	Fahrzeugüberschlag	1007
<b>9.8</b>	<b>Insassenschutz</b>	<b>1009</b>
9.8.1	Fahrzeuginnenraum	1009
9.8.2	Rückhaltesysteme	1009
9.8.2.1	Sicherheitsgurte	1009
9.8.2.2	Kinderrückhaltesysteme	1011
9.8.2.3	Airbag-Systeme	1011
9.8.2.4	Sitze, Sitzlehne und Kopfstütze	1014
9.8.3	Zusammenwirken von Rückhaltesystemen und Fahrzeug	1014
9.8.3.1	Insasse	1014
9.8.3.2	Angelegter Dreipunktgurt	1014
9.8.3.3	Airbag-Systeme	1016
9.8.4	Seitenkollisionen	1017
9.8.4.1	Theoretische Betrachtung	1017
9.8.4.2	In den USA und Europa definierte Seitenaufpralltests	1018
9.8.5	Kompatibilität	1018
9.8.5.1	Allgemeine Aussage	1018
9.8.5.2	Pkw/Lkw-Kollision	1020
9.8.5.3	Fußgängerkollision	1020
<b>9.9</b>	<b>Integrale Sicherheit</b>	<b>1021</b>
9.9.1	Fahrer, Fahrzeug und Umfeld	1022
9.9.2	PreCrash	1023
9.9.2.1	Automatischer Bremseneingriff	1023
9.9.2.2	Präventiv wirkender Insassenschutz	1024
9.9.2.3	Irreversible Rückhaltesysteme	1025
9.9.3	Integraler Fußgängerschutz	1026
9.9.4	Entwicklungsprozess integraler Funktionen	1028
9.9.4.1	Simulation vorausschauender Sicherheitssysteme	1028
9.9.5	Retten und Bergen	1029
9.9.6	Car2X Safety – Ausblick	1030
<b>9.10</b>	<b>Rechnerunterstützung bei der Entwicklung von Sicherheitskomponenten</b>	<b>1031</b>
9.10.1	Grundlagen	1031
9.10.2	Beschreibung der numerischen Werkzeuge	1032
9.10.3	Komponentenberechnung	1032
9.10.4	Gesamtfahrzeugauslegung	1033
9.10.4.1	Gesamtfahrzeugmodell	1033
9.10.4.2	Fahrzeugmodell	1033
9.10.4.3	Insassensimulation	1034
<b>9.11</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1035</b>

<b>Literatur</b>	<b>1036</b>
<b>Allgemeine Literatur</b>	<b>1038</b>
<b>10 Werkstoffe und Fertigungsverfahren</b>	<b>1039</b>
<b>10.1 Ein Blick zurück</b>	<b>1040</b>
<b>10.2 Werkstoffe moderner Kraftfahrzeuge</b>	<b>1043</b>
10.2.1 Materialanteile im Automobilbau	1043
10.2.2 Fortschritte in den Leistungsmerkmalen	1045
10.2.2.1 Festigkeit und Verarbeitung	1045
10.2.2.1.1 Stahlwerkstoffe	1045
10.2.2.1.2 Leichtmetalle	1051
10.2.2.1.3 Edelmetalle	1064
10.2.2.1.4 Kunststoffe	1064
10.2.2.2 Tribologie	1074
10.2.2.3 Korrosionsschutz	1077
10.2.3 Fortschritte in der Fügetechnik	1079
10.2.3.1 Schweißen und Löten	1079
10.2.3.2 Mechanische Fügeverfahren	1080
10.2.3.3 Kleben	1082
10.2.4 Fortschritte in der Um- und Urformung	1084
10.2.4.1 Metalle	1084
10.2.4.1.1 Innenhochdruckumformen	1084
10.2.4.1.2 Hydromechanisches Umformen	1086
10.2.4.1.3 Zwei-Platinen-Innenhochdruckumformen	1086
10.2.4.1.4 Kaltfließpressen	1087
10.2.4.1.5 Gießtechnik	1088
10.2.4.1.6 Schmieden	1091
10.2.4.1.7 Schmiedestahl	1091
10.2.4.2 Polymere	1092
10.2.5 Fortschritte in der Umweltverträglichkeit	1095
10.2.6 Thermoelektrizität und mögliche Anwendungen im Pkw	1100
10.2.7 Nanotechnologie (im Automobil)	1102
<b>10.3 Wettbewerb und Zusammenspiel der Werkstoffe</b>	<b>1109</b>
<b>10.4 Wälzlager im Fahrzeugbau</b>	<b>1111</b>
10.4.1 Einleitung	1111
10.4.2 Gebräuchliche Wälzlager-Bauarten	1113
10.4.2.1 Einreihige Rillenkugellager	1113
10.4.2.2 Nadellager, Nadelkränze	1113
10.4.2.3 Kegelrollenlager	1113
10.4.3 Auslegung von Wälzlagern	1113
10.4.3.1 Wellen- und Lagerberechnung nach Formelsammlung	1113
10.4.3.2 Wellen- und Lagerberechnung mittels spezieller Software	1114
10.4.4 Exemplarische Ausführungen aus der jüngeren Wälzlager-Entwicklung	1115
10.4.4.1 Wälzgelagerter Turbolader	1116
10.4.4.2 Radlager	1116

10.4.4.3	Beispiele für richtungsweisende Technologien mit Wälzlagerung	1119
10.4.4.3.1	Doppelkupplungs-Systeme	1119
10.4.4.3.2	Ausgleichswellen mit direkter Wälzlagerung	1120
10.4.4.3.3	Kugelgewinde-Antrieb	1121
10.4.4.3.4	CVT-Getriebe	1121
10.4.4.3.5	Leichtbau-Differenzial	1121
10.4.4.3.6	Hybridantriebe	1122
10.4.4.3.7	Wälzlagerung des Kurbeltriebs im Verbrennungsmotor	1123
10.4.5	Schmierung und Schmierstoffe für Wälzlager	1123
Literatur		1125
Literatur zu Abschn. 10.1		1125
Literatur zu Abschn. 10.2		1125
Literatur zu Abschn. 10.4		1130
Weiterführende Literatur		1130
<b>11</b>	<b>Produktentstehungsprozess</b>	<b>1133</b>
11.1	<b>Simultaneous Engineering und Projektmanagement im Produktentstehungsprozess</b>	<b>1134</b>
11.1.1	Einleitung	1134
11.1.2	Produktentstehungsprozess	1134
11.1.2.1	Organisationsformen	1134
11.1.2.2	Projektorganisation eines OEM	1137
11.1.2.3	PEP-Ablauf und Meilenstein-Definition	1137
11.1.3	Produktplanung	1139
11.1.4	Innovationsmanagement	1141
11.1.5	Produktinhalte, Lastenhefte, Gesetze	1142
11.1.6	Konzeptentwicklung	1143
11.1.7	Produkt Daten Management (PDM)	1144
11.1.8	Product Lifecycle Management (PLM)	1145
11.1.9	Serienentwicklung	1147
11.1.9.1	Strak	1147
11.1.9.2	Datenkontrollprozess	1147
11.1.9.3	Planungsfreigabe	1147
11.1.9.4	Virtuelle Entwicklung	1148
11.1.9.5	Fahrzeugerprobung	1149
11.1.9.6	Änderungsmanagement und Launch-Freigabe	1151
11.1.9.7	Meisterbock	1151
11.1.9.8	Breitenabsicherung	1151
11.1.10	Serienbetreuung	1152
11.1.11	Ausblick	1152
11.2	<b>Fahrzeugkonzeption in der frühen Entwicklungsphase</b>	<b>1153</b>
11.2.1	Einführung	1153
11.2.1.1	Definition	1153
11.2.1.2	Zielsetzung der frühen Entwicklungsphase	1153
11.2.1.3	Fahrzeugkonzeptinhalte der frühen Phase	1153

11.2.2	Vorgehensweise . . . . .	1154
11.2.2.1	Prozess . . . . .	1154
11.2.2.2	Digitaler Prototyp . . . . .	1155
11.2.2.3	Tools . . . . .	1156
11.2.3	Beispiele . . . . .	1157
11.2.3.1	Fahrdynamik . . . . .	1157
11.2.3.2	Passive Sicherheit – Betriebsfestigkeit . . . . .	1158
11.2.3.3	Aerodynamik . . . . .	1158
11.2.3.4	Fahrleistung und Verbrauch . . . . .	1158
11.2.4	Ausblick . . . . .	1158
11.3	<b>Berechnung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung</b> . . . . .	1159
11.3.1	Einleitung . . . . .	1159
11.3.2	CAE-Prozess und notwendige Infrastruktur in der Produktentstehung . . . . .	1159
11.3.2.1	CAE-Einsatz in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen . . . . .	1160
11.3.2.2	CAE-Organisation im Unternehmen . . . . .	1162
11.3.2.3	Computer Ressourcen für CAE . . . . .	1163
11.3.3	Anwendungsgebiete und Methoden . . . . .	1163
11.3.3.1	Finite Element-Methoden . . . . .	1166
11.3.3.2	Mehrkörpersystem-Methoden . . . . .	1170
11.3.3.3	Strömungssimulation . . . . .	1172
11.3.3.4	Elektromagnetische Verträglichkeit . . . . .	1176
11.3.4	Simulation von Bauteil-Herstellprozessen . . . . .	1177
11.3.4.1	Umformsimulation . . . . .	1177
11.3.4.2	Gießsimulation . . . . .	1178
11.3.4.3	Schweißsimulation . . . . .	1179
11.3.4.4	Lackiersimulation . . . . .	1179
11.3.5	Optimierung . . . . .	1179
11.3.5.1	Struktur-Optimierung . . . . .	1180
11.3.5.2	Multidimensionale Optimierung . . . . .	1181
11.3.5.3	Stochastische Simulationen . . . . .	1181
11.4	<b>Mess- und Versuchstechnik</b> . . . . .	1182
11.4.1	Kurzer Rückblick . . . . .	1182
11.4.2	Grundsätzliches zur Mess- und Versuchstechnik im Automobilbau . . . . .	1182
11.4.3	Einige ausgewählte Beispiele . . . . .	1188
11.4.4	Zur Effizienz der Mess- und Versuchstechnik . . . . .	1191
11.5	<b>Qualitätsmanagement</b> . . . . .	1192
11.6	<b>Betrieb und Instandhaltung von Kraftfahrzeugen</b> . . . . .	1195
11.6.1	Einführung . . . . .	1196
11.6.1.1	Definitionen . . . . .	1196
11.6.1.2	Entwicklungstendenzen . . . . .	1196
11.6.2	Instandhaltbarkeit und Zuverlässigkeit . . . . .	1197
11.6.2.1	Zuverlässigkeitskenngrößen . . . . .	1198
11.6.2.2	Weibullverteilung . . . . .	1198
11.6.2.3	Anwendung von Zuverlässigkeitskenngrößen . . . . .	1200
11.6.3	Lebenslaufkosten . . . . .	1201
11.6.3.1	Anschaffungskosten . . . . .	1201
11.6.3.2	Gesetzgeber abhängige Kosten . . . . .	1202
11.6.3.3	Versicherungskosten . . . . .	1202

11.6.3.4	Betriebskosten . . . . .	1202
11.6.3.5	Werkstattkosten . . . . .	1202
11.6.4	Organisation des Service-Prozesses in den Werkstätten . . . . .	1203
11.6.5	Instandhaltungsgerechte Konstruktion . . . . .	1204
11.6.5.1	Ziele und Anforderungen zur Instandhaltbarkeit . . . . .	1204
11.6.5.2	Werkstattkostenfaktor Zeit (Instandhaltungszeit, Planzeiten) . . . . .	1205
11.6.5.3	Kostenfaktor Werkstattausrüstung, Spezialwerkzeuge . . . . .	1206
11.6.5.4	Ersatzteile, Zerlegungstiefe, Transport-, Lagerfähigkeit und Lieferzeitraum . . . . .	1207
11.6.5.5	Nachweis der Instandhaltbarkeit . . . . .	1207
11.6.5.6	Datensysteme . . . . .	1208
11.6.5.7	Virtuelle Beurteilung der Servicefreundlichkeit . . . . .	1209
11.6.5.8	Berichtswesen . . . . .	1209
11.6.6	Strategie und Konzept . . . . .	1210
11.6.6.1	Instandhaltungsstrategien . . . . .	1210
11.6.6.2	Instandhaltungskonzept . . . . .	1210
11.6.6.3	Anforderungen zur Instandhaltbarkeit . . . . .	1211
11.6.6.4	Kunden- und Lieferantenbeziehungen . . . . .	1211
11.6.6.5	Rolle des Managements . . . . .	1211
11.6.6.6	Einfluss der EU . . . . .	1212
11.6.6.7	Einfluss alternativer Antriebskonzeptionen . . . . .	1212
Literatur	. . . . .	1213
Literatur zu Abschnitt 11.1	. . . . .	1213
Allgemeine Literatur	. . . . .	1214
Literatur zu Abschnitt 11.2	. . . . .	1214
Literatur zu Abschnitt 11.3	. . . . .	1214
Literatur zu Abschnitt 11.4	. . . . .	1215
Literatur zu Abschnitt 11.5	. . . . .	1217
Literatur zu Abschnitt 11.6	. . . . .	1218
<b>12</b>	<b>Rennfahrzeuge . . . . .</b>	<b>1221</b>
12.1	Einsatzbedingungen . . . . .	1222
12.1.1	Sportbehörde . . . . .	1222
12.1.2	Technik-Reglement . . . . .	1222
12.1.3	Sport-Reglement . . . . .	1222
12.2	Fahrzeug-Kategorien . . . . .	1222
12.3	Bauweise . . . . .	1225
12.3.1	Monocoque . . . . .	1225
12.3.1.1	Struktur . . . . .	1225
12.3.1.2	Entwicklung . . . . .	1226
12.3.1.3	Fertigung . . . . .	1226
12.3.2	Bodywork . . . . .	1226
12.3.3	Motor . . . . .	1226
12.3.4	Getriebe . . . . .	1227
12.3.5	Fahrwerk . . . . .	1229
12.3.5.1	Achskonzept . . . . .	1229
12.3.5.2	Federungssystem . . . . .	1230

12.3.5.3	Dämpfungssystem . . . . .	1230
12.3.5.4	Abstimmung . . . . .	1230
12.4	Performance und Rundenzeit . . . . .	1231
12.4.1	Fahrzeugparameter . . . . .	1231
12.4.2	Sensitivität der direkt messbaren Fahrzeugparameter . . . . .	1231
12.4.3	Entwicklungspotenzial . . . . .	1231
12.5	Entwicklung Aerodynamik und Fahrdynamik . . . . .	1233
12.5.1	Aerodynamische Effizienz und Aerobalance . . . . .	1233
12.5.2	Einflussgrößen auf die Aerodynamik . . . . .	1233
12.5.2.1	Radeinschlag beim Lenken . . . . .	1234
12.5.2.2	Gierwinkel und Schräganströmung . . . . .	1234
12.5.2.3	Mechanische Fahrwerksabstimmung . . . . .	1234
12.5.2.4	Durchströmung des Fahrzeugs . . . . .	1235
12.5.3	Aerodynamik und Reifeneinfluss . . . . .	1235
12.5.4	Aerodynamik und Fahrdynamik . . . . .	1237
12.6	Zuverlässigkeit . . . . .	1237
Literatur	. . . . .	1238
13	Ausblick – Wo geht es hin? . . . . .	1239
Literatur	. . . . .	1241
Serviceteil	. . . . .	1243
Sachverzeichnis	. . . . .	1244