

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 Handelshemmnnissen	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
2.2.5.1	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 M₁-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	 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	Antriebwiderstand	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

Inhaltsverzeichnis

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 Fahrgastrumes	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 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	Antriebsstrangkonzepte	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 Fahrzeulgänge 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 Gleichspannung zwischenkreis	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

Inhaltsverzeichnis

4.3.5	Der Wasserstoff-Verbrennungsmotor	210
4.3.5.1	Konstruktive Merkmale	211
4.3.5.2	H₂-Brennverfahren mit äußerer Gemischbildung	212
4.3.5.3	H₂-Brennverfahren mit innerer Gemischbildung	213
4.3.5.4	Wirkungsgradpotenziale	213
4.3.5.5	H₂-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 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 Ventilsteuering	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	Ventilsteuерzeiten	259
5.1.5.1.4	Variable Ventilsteuering	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	Abgasmissionen	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 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	Dieselkraftstoffe	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	Aufladeprinzip	352
5.3.2.1	Schwingrohraufladung	352
5.3.2.2	Kompressoraufladung	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	Registeraufladung	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	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	Fahrdynamiksensorik	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

Inhaltsverzeichnis

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 Halbhohlniet	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

Inhaltsverzeichnis

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 Grundauslegungen	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	Innenraumbegablichkeit/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 Klimaanlagen	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	Fahrzeugginnenausstattung	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/Laderraum	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

Inhaltsverzeichnis

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 Fahrzeuglängsrichtung	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

Inhaltsverzeichnis

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	Fahrwerkauslegung	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	Lenkungskinematik	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

Inhaltsverzeichnis

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
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	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

Inhaltsverzeichnis

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	Ultrahorbereichssensoren 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

Inhaltsverzeichnis

8.8	Moderne Methoden der Regelungstechnik	972
8.8.1	Anforderungen an Regelsysteme im Kraftfahrzeug	972
8.8.2	Moderne Reglerentwurfsverfahren	973
8.8.2.1	Adaptive Regelung	973
8.8.2.2	Fuzzy-Regelung	974
8.8.2.3	Γ -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
Literatur		979
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
9	Fahrzeugsicherheit	985
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« Unfallerhebungen	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	Nachtassistenz	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

9.6	Quasistatische Anforderungen an die Karosserie	1003
9.6.1	Sitz- und Sicherheitsgurtverankerungspunkttests	1003
9.6.2	Dachfestigkeit	1003
9.6.3	Seitenstruktur	1003
9.7	Dynamische Fahrzeugkollision	1004
9.7.1	Frontale Kollision	1004
9.7.2	Seitliche Kollisionen	1007
9.7.3	Heckkollision	1007
9.7.4	Fahrzeugüberschlag	1007
9.8	Insassenschutz	1009
9.8.1	Fahrzeuginsinnenraum	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 Seitenauftpralltests	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
9.9	Integrale Sicherheit	1021
9.9.1	Fahrer, Fahrzeug und Umfeld	1022
9.9.2	PreCrash	1023
9.9.2.1	Automatischer Bremseingriff	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
9.10	Rechnerunterstützung bei der Entwicklung von Sicherheitskomponenten	1031
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
9.11	Zusammenfassung	1035

Literatur	1036
Allgemeine Literatur	1038
10 Werkstoffe und Fertigungsverfahren	1039
10.1 Ein Blick zurück	1040
10.2 Werkstoffe moderner Kraftfahrzeuge	1043
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
10.3 Wettbewerb und Zusammenspiel der Werkstoffe	1109
10.4 Wälzlager im Fahrzeugbau	1111
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 richtungweisende Technologien mit Wälzlagierung	1119
10.4.4.3.1 Doppelkupplungs-Systeme	1119
10.4.4.3.2 Ausgleichswellen mit direkter Wälzlagierung	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 Wälzlagierung 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
11 Produktentstehungsprozess	1133
11.1 Simultaneous Engineering und Projektmanagement	1134
im Produktentstehungsprozess	1134
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 Fahrzeugkonzeption in der frühen Entwicklungsphase	1153
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

Inhaltsverzeichnis

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	Berechnung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung	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	Mess- und Versuchstechnik	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	Qualitätsmanagement	1192
11.6	Betrieb und Instandhaltung von Kraftfahrzeugen	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	Zuverlässigkeitsskenngrößen	1198
11.6.2.2	Weibullverteilung	1198
11.6.2.3	Anwendung von Zuverlässigkeitsskenngrößen	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
12	Rennfahrzeuge	1221
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

Inhaltsverzeichnis

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