

Inhaltsverzeichnis

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

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

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

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

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

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

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

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

5.1.5.8	Motormanagement	339
5.1.5.8.1	Motorsteuerung	340
5.1.5.8.2	Betriebsstrategie und Motormanagement bei Benzin-Direkteinspritzung	342
5.2	Dieselmotor	344
5.2.1	Definitionen	344
5.2.1.1	Verbrennungsmotor	344
5.2.1.2	Dieselmotor	344
5.2.2	Historie des Dieselmotors	345
5.2.3	Motortechnische Grundlagen	345
5.2.3.1	Einleitung	345
5.2.3.2	Vergleich motorischer Verbrennungsverfahren	345
5.2.3.3	Die Thermodynamik des Dieselmotors	348
5.2.4	Die dieselmotorische Verbrennung	351
5.2.4.1	Allgemeines	351
5.2.4.2	Einspritzung und Gemischbildung	351
5.2.4.3	Selbstzündung und Zündverzug	352
5.2.4.4	Verbrennung und Brennverlauf	353
5.2.4.5	Abgasemissionen	354
5.2.5	Die dieselmotorischen Verbrennungsverfahren	358
5.2.5.1	Ausführungsformen	358
5.2.5.2	Vorkammervverfahren	359
5.2.5.3	Wirbelkammervverfahren	359
5.2.5.4	Direkte Einspritzung	359
5.2.5.5	Qualitative Bewertung von Verbrennungsverfahren	361
5.2.5.6	Simulation der dieselmotorischen Verbrennung	362
5.2.6	Konstruktive und funktionale Merkmale des Dieselmotors	363
5.2.6.1	Zylinderkopf und Zylinderkurbelgehäuse	363
5.2.6.2	Einspritzsysteme	365
5.2.6.3	Aufladung	371
5.2.6.4	Abgasrückführung	374
5.2.6.5	Luftmanagement	375
5.2.6.6	Brennverfahren	375
5.2.6.7	Downsizing und DownsPEEDING	375
5.2.7	Abgasnachbehandlung	376
5.2.7.1	Oxidationskatalysator (DOC)	376
5.2.7.2	Dieselpartikelfilter (DPF)	377
5.2.7.3	Entstickung	379
5.2.7.4	Real Driving Emissions	386
5.2.8	Dieseldieselkraftstoffe	387

5.2.9	Regelung	391
5.2.10	Die Zukunft des Dieselmotors	391
5.3	Aufladung	401
5.3.1	Hintergrund	401
5.3.2	Aufladeprinzip	402
5.3.2.1	Schwingrohraufladung	403
5.3.2.2	Kompressorausladung	403
5.3.2.3	Abgasturboaufladung	404
5.3.2.4	Sonstige Systeme	405
5.3.3	Konstruktiver Aufbau	406
5.3.4	Kopplung von Motor und Verdichter	407
5.3.5	Regelung	408
5.3.5.1	Kompressor	408
5.3.5.2	Turbolader mit Bypassregelung (Wastegate)	409
5.3.5.3	Turbolader mit Regelung über einen verstellbaren Düsenring	409
5.3.5.4	Zweistufig geregelte Aufladung aus zwei Abgasturboladern	410
5.3.5.5	Zweistufig geregelte Aufladung aus Abgasturbolader und Kompressor	410
5.3.6	Motorkomponenten im unmittelbaren Zusammenhang zur Aufladung	411
5.3.6.1	Ladeluftkühlung	411
5.3.6.2	Abgasrückführung	411
5.3.6.3	Schubumluft	411
5.3.7	Sonstige Regelungssysteme	412
5.3.7.1	Turbolader mit Regelung über eine verschiebbare Hülse am Turbineneintritt	412
5.3.7.2	Elektrisch unterstützte Aufladung	412
5.3.7.3	Registeraufladung	412
5.3.7.4	Turbo-Compound-Verfahren	413
5.3.8	Downsizing und Aufladung: Potentiale, Grenzen, Auswirkungen	413
5.3.9	Methoden in der Entwicklung	414
5.3.10	Ausblick	416
5.4	Triebstrang	417
5.4.1	Überblick	417
5.4.1.1	Einleitung	417
5.4.1.2	Aufgaben des Getriebes	417
5.4.1.3	Aufbau und Elemente des Triebstrangs	419
5.4.1.4	Achsantrieb	420
5.4.1.5	Differenzialgetriebe	420
5.4.1.6	Allrad-Verteilergetriebe	421
5.4.1.7	Gelenkwellen	421

5.4.1.8	Schwingungssystem	421
5.4.1.8.1	Torsionsschwingungen	422
5.4.1.8.2	Biegeschwingungen	422
5.4.2	Anfahrelemente	422
5.4.2.1	Kupplungen	422
5.4.2.1.1	Drehmomentübertragung	422
5.4.2.1.2	Trennen	424
5.4.2.1.3	Drehschwingungsdämpfung	424
5.4.2.1.4	Kupplungsbetätigung	424
5.4.2.2	Hydrodynamische Drehmomentwandler	426
5.4.2.2.1	Einleitung	426
5.4.2.2.2	Aufbau	426
5.4.2.2.3	Funktionsweise	426
5.4.2.2.4	Ausblick	429
5.4.3	Das Handschaltgetriebe-System	429
5.4.3.1	Funktion und Aufbau	429
5.4.3.2	Verzahnung	430
5.4.3.3	Synchronisierung	431
5.4.3.4	Weitere Getriebekomponenten	431
5.4.3.5	Getriebebeschaltung	432
5.4.3.6	Ausführungsbeispiele	432
5.4.3.7	Automatisierte Schaltgetriebe	433
5.4.4	Stufenautomatgetriebe	433
5.4.4.1	Funktionsweise	433
5.4.4.2	Aufbau	435
5.4.4.3	Baugruppen	436
5.4.4.4	Betätigung	440
5.4.4.5	Betriebsverhalten	441
5.4.4.6	Ausführungsbeispiele	443
5.4.5	Stufenlose Getriebe	445
5.4.5.1	Funktionsweise	445
5.4.5.2	Aufbau	446
5.4.5.3	Baugruppen	446
5.4.5.4	Betätigung	448
5.4.5.5	Betriebsverhalten	448
5.4.5.6	Ausführungsbeispiele	449
5.4.6	Doppelkupplungsgetriebe	450
5.4.6.1	Funktionen und Bauteile	450
5.4.6.2	Radsatzsynthese	453

5.4.7	Hybridantriebe	454
5.4.7.1	Hybridsysteme	454
5.4.7.2	Mikrohybrid	454
5.4.7.3	Mildhybrid und Vollhybrid	454
5.4.7.4	Verbrauchseinsparung	454
5.4.8	Elektronische Getriebesteuerung	457
5.4.8.1	Gesamtsystem	457
5.4.8.2	Steuergerät	458
5.4.8.3	Bauteile	459
5.4.8.4	Funktionen	461
5.4.9	Ausblick	463
5.5	Allradantriebe, Brems- und Antriebsregelungen	465
5.5.1	Allradantriebs-Konzepte	465
5.5.1.1	Verwendung von Allradantrieben	465
5.5.1.2	Kennlinien von Allradantrieben	465
5.5.1.3	Systematik der Antriebe	467
5.5.1.4	Systemkomponenten	468
5.5.1.4.1	Zentraldifferenziale	468
5.5.1.4.2	Kupplungen mit selbsttätiger Momentenanpassung	471
5.5.1.4.3	Kupplungen mit externer Regelung	472
5.5.1.4.4	Abschaltbarer Allrad-Teilleistungspfad	476
5.5.1.4.5	Variable Drehmomentverteilung zur aktiven Beeinflussung des Gierverhaltens eines Fahrzeuges	477
5.5.1.5	Getriebeabtriebe	481
5.5.1.6	Systemauswahl	483
5.5.1.7	Einfluss auf Crashverhalten	484
5.5.1.8	Geräusch- und Schwingungstechnik Noise-Vibration-Harshness (NVH)	484
5.5.1.9	Dimensionierung	485
5.5.1.10	Allradantrieb und Regelsysteme	485
5.5.2	Antriebs- und Bremsregelung	486
5.5.2.1	Unfallvorbeugende Sicherheit	486
5.5.2.2	Traktionssysteme	487
5.5.2.3	Stabilitätssysteme	487
5.5.2.3.1	Passive Systeme ASC, ASR	487
5.5.2.3.2	Aktive Systeme, DSC, ESP	489
5.5.2.3.3	Elektronisches Bremsen Management EBM	491
5.5.2.3.4	EBMx für Allradfahrzeuge	492
5.5.2.3.5	Weiterentwicklung	493
5.5.2.4	DSC, ESP mit Fremdkraft-Bremsanlage	493

5.5.2.5	Bremssysteme für Fahrzeuge mit Hybridantrieb	493
5.5.2.6	Sensorik	494
5.5.2.6.1	Raddrehzahlfühler	494
5.5.2.6.2	Fahrdynamiksensorik	494
5.6	Abgasanlagen	495
5.6.1	Aufgaben und Komponenten der Abgasanlage	495
5.6.2	Katalysatoren	497
5.6.3	Partikelfilter	498
5.6.4	Canning und Monolith-Lagerung	499
5.6.5	Schalldämpfer	500
5.6.6	Akustische Abstimmung	502
5.6.7	Körperschall	503
5.7	Bordenergie-Management	503
5.7.1	Ausgangssituation	503
5.7.2	Der Klauenpolgenerator im Energiebordnetz	504
5.7.2.1	Leistungs- und Wirkungsgradverhalten	505
5.7.2.2	Überspannungsschutz	506
5.7.2.3	Generator mit Schnittstellenregler	506
5.7.3	Elektrische Speicher im Energiebordnetz	507
5.7.3.1	Blei-Säure Batterien	508
5.7.3.1.1	Entladen von Blei-Säure-Batterien	508
5.7.3.1.2	Laden von Blei-Säure-Batterien	509
5.7.3.2	Traktionsspeicher	509
5.7.3.2.1	Aufbau und Auslegung von Traktionsbatterien	509
5.7.4	Energiebordnetze für konventionelle Fahrzeuge	510
5.7.4.1	Energiebordnetze für Start/Stopp Fahrzeuge	510
5.7.4.2	Zwei-Batterien-Bordnetze	511
5.7.4.3	Elektrisches Energiemanagement EEM in konventionellen Fahrzeugen	511
5.7.4.3.1	Ruhestrommanagement	513
5.7.4.3.2	Fahrbetrieb/Dynamisches Energiemanagement	513
5.7.4.3.3	Diagnose und Anzeige	513
5.7.4.3.4	Zusatzfunktionen	514
5.7.4.3.5	Batteriezustandserkennung/Batteriemanagement	514
5.7.4.3.6	Batteriesensor EBS	514
5.7.5	Energiebordnetze für Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang	515
5.7.5.1	Elektrifizierte Antriebsstränge	517
5.7.5.2	Elektromotoren	517
5.7.5.3	Energiespeicher	517
5.7.5.4	Sicherheitsanforderungen in Hochvolt-Bordnetzen	517

5.8	Chancen und Risiken des Zweitaktmotors	517
5.8.1	Das Zweitaktverfahren	518
5.8.2	Das verwendete Konzept	518
5.8.3	Die Entwicklungsschwerpunkte	519
5.8.3.1	Abgasverhalten	519
5.8.3.2	Geräuschverhalten	520
5.8.3.3	Kraftstoffverbrauch	520
5.8.3.4	Mechanische Standfestigkeit	521
5.8.3.5	Package/Gewicht	522
5.8.3.6	Kosten	522
5.8.4	Zusammenfassung und Bewertung	524
5.9	Konventionelle und alternative Kraftstoffe und Energieträger	524
5.9.1	Fossile Energiequellen	528
5.9.2	Regenerative Energiequellen	530
5.9.2.1	Biokraftstoffe auf Basis von Biomasse	531
5.9.2.2	Biokraftstoffe auf Basis von Licht und Kohlendioxid	533
5.9.2.3	Mobilität auf Basis von Elektrizität	534
5.9.2.4	Evaluation der Potenziale regenerativer Energiequellen für die Mobilität	537
5.9.3	Zusammenfassung	539
5.10	Kraftstoffsystem	540
5.10.1	Aufgaben und Komponenten	540
5.10.2	Gesetzliche und kundenspezifische Vorschriften	541
5.10.2.1	Gesetzliche Vorschriften	541
5.10.2.2	Kundenspezifische Anforderungen	546
5.10.3	Kraftstoffbehälter	546
5.10.3.1	Anordnung im Fahrzeug	547
5.10.3.2	Behälterwerkstoff	547
5.10.3.2.1	Metall Kraftstoffbehälter	547
5.10.3.2.2	Kunststoff Kraftstoffbehälter (KKB)	547
5.10.4	Befüllsystem	549
5.10.5	Ausgleichsvolumen und Be-/Entlüftungssystem	549
5.10.5.1	Externes Ausgleichsvolumen	550
5.10.5.2	Internes Ausgleichsvolumen	550
5.10.5.3	Aktivkohlefilter (AKF)	550
5.10.6	Füllstandserfassung	550
5.10.6.1	Hebelgeber	551
5.10.6.2	Tauchrohrgeber	551
5.10.6.3	Füllstandssensor ohne bewegliche Teile	551

5.10.7	Kraftstoffförderung	552
5.10.7.1	Elektrokraftstoffpumpe (EKP)	552
5.10.7.2	Schwalltopf	554
5.10.7.3	Saugstrahlpumpe (SSP)	554
5.10.7.4	Aufbereitung des Kraftstoffs	554
5.10.8	Elektrische/elektronische Systemeinbindung	555
5.10.9	Besondere Anforderungen an die KVA bei hybridisierten Fahrzeugen	555
5.10.10	Ausblick	556
5.11	Kraftstoffversorgungsanlagen für alternative Energieträger	557
5.11.1	Anforderungen	557
5.11.2	Gesetzliche Vorschriften	557
5.11.3	Anordnung im Fahrzeug	558
5.11.4	Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für Druckgas	559
5.11.4.1	Kraftstoffbehälter	559
5.11.4.2	Kraftstoffsysteme	559
5.11.5	Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für tiefkalt flüssige Gase	561
5.11.5.1	Kraftstoffbehälter	561
5.11.5.2	Kraftstoffsysteme	562
5.11.6	Speichersysteme für tiefkalte superkritische Gase	562
5.11.7	Entwicklungstendenzen	563
	Literatur	564
6	Aufbau	575
	<i>Univ.-Prof.i.R. Dr.rer.nat. habil. Heiner Bubb, Dipl.-Ing. Helmut Goßmann, Dr.-Ing. René Konor- sa, Walter Pecho, Dipl.-Ing. (FH), Dr. Armin Plath, Jochen Reichhold, Prof. Dr. Rudolf Stauber, Dipl.-Ing. Lothar Teske, Dr. Klaus Werner Thomer, Dipl.-Ing. Heinrich Timm, Dr. Hans-Jörg Vö- gel und Dr. Markus Wawzyniak</i>	
6.1	Karosseriebauweisen	576
6.1.1	Selbsttragende Karosserie	576
6.1.1.1	Entwicklungsanforderungen	576
6.1.1.2	Außenhaut	576
6.1.1.2.1	Design	576
6.1.1.2.2	Aerodynamik und Aeroakustik	576
6.1.1.3	Package	578
6.1.1.4	Karosseriestruktur	580
6.1.1.4.1	Unterbau	580
6.1.1.4.2	Aufbau	582
6.1.1.4.3	Zusammenbau Seitenwand	582
6.1.1.4.4	Dach	583
6.1.1.4.5	Anbauteile	583

6.1.1.4.6	Verbindungstechnik	585
6.1.1.4.7	Materialauswahl und Leichtbau	585
6.1.1.4.8	Sicken und Verprägungen	587
6.1.1.5	Karosserieeigenschaften	587
6.1.1.5.1	Zusammenbautoleranzen	587
6.1.1.5.2	Karosseriesteifigkeiten	587
6.1.1.5.3	Aufprallverhalten	588
6.1.1.6	Ausblick	589
6.1.2	Aluminium Space Frame – ASF	589
6.1.2.1	Einleitung	589
6.1.2.2	AUDI-Aluminium Space Frame – ASF	590
6.1.2.3	Das Karosseriekonzept des Audi-ASF	592
6.1.2.4	Der Aufbau der ASF Karosserie A8 (D3)	593
6.1.2.4.1	Fortschritte in der ASF Architektur nach zwanzig Jahren Produktionserfahrung	594
6.1.2.5	Werkstoffe und Fertigungstechnologien	595
6.1.2.5.1	Blechteile und Verfahren	595
6.1.2.5.2	Strangpressprofile und Verfahren	596
6.1.2.5.3	Gussteile und Verfahren	597
6.1.2.6	Fügeverfahren	598
6.1.2.6.1	MIG-Schweißen mit Impulslichtbogen	598
6.1.2.6.2	Stanznieten mit Halbhohniet	598
6.1.2.6.3	Vollstanznieten	599
6.1.2.6.4	Automatisiertes Direktverschrauben (FDS – Flow Drill Screws)	599
6.1.2.6.5	Laserstrahl-Schweißen	600
6.1.2.6.6	Laserstrahl-MIG-Hybridschweißen	600
6.1.2.6.7	Rollfalzen + Kleben	600
6.1.2.7	Reparaturkonzept	600
6.1.2.8	Energiebilanz	602
6.1.3	Leichtbaulösungen im Karosseriebau	602
6.1.3.1	Die Zukunft der Stahlkarosserie „FutureSteelVehicle“	602
6.1.4	Cabriolet	610
6.1.4.1	Einführung	610
6.1.4.2	Rohbau	610
6.1.4.2.1	Karosseriesteifigkeit	611
6.1.4.2.2	Karosserietilger	612
6.1.4.2.3	Betriebsfeste Auslegung von Cabriolet-Karosserien	612
6.1.4.3	Sicherheitsrelevante Auslegung von Cabriolets	612
6.1.4.4	Aeroakustik	613
6.1.4.5	Türen	614

6.1.4.6	Dachsystem	614
6.1.4.6.1	Faltbares Festdach (Retractable Hardtop)	617
6.1.4.6.2	Stoffverdeck (Softtop)	617
6.1.4.6.3	Komponenten des Verdecksystems	617
6.2	Materialien der Karosserie	620
6.2.1	Historischer Rückblick	620
6.2.2	Konzepte und Bauweisen	620
6.2.3	Anforderungen und Auslegungskriterien an die Werkstoffe der Karosserie	623
6.2.4	Typische Karosseriewerkstoffe	626
6.2.4.1	Stahlwerkstoffe	626
6.2.4.2	Aluminiumlegierungen	629
6.2.4.3	Magnesiumlegierungen	630
6.2.4.4	Kunststoffe	630
6.2.4.4.1	Thermoplaste	632
6.2.4.4.2	Duroplaste	632
6.2.5	Sortenreine Beispiele	634
6.2.5.1	Stahl Seitenrahmen	634
6.2.5.2	Aluminium Seitentür	635
6.2.5.3	Magnesium Instrumententafelträger	635
6.2.5.4	Hardtop als Sandwichkonstruktion	635
6.2.6	Mischbauweisen	635
6.2.6.1	Mischbau in der Karosserie	635
6.2.6.2	Mischbau im Innenraum (Cockpit) und Frontendmodule	637
6.2.7	Materialspezifische Aspekte der Fertigungstechnik	638
6.2.7.1	Tailored products	638
6.2.7.2	Superplastisches Umformen (SPF)	642
6.2.7.3	Innenhochdruckumformen (IHU)	642
6.2.7.4	Folientechnik als Alternative zur Nasslackierung	643
6.2.7.5	Fügeverfahren	644
6.3	Oberflächenschutz	645
6.3.1	Nutzen des Oberflächenschutzes	645
6.3.1.1	Korrosionsschutz	646
6.3.1.2	Oberflächenschutz	647
6.3.2	Entwicklung und Produktion des Oberflächenschutzes	647
6.3.2.1	Blechvorbeschichtung	647
6.3.2.2	Maßnahmen in der Karosseriekonstruktion	648
6.3.2.3	Maßnahmen in der Produktion	649
6.3.2.3.1	Kleben und Dichten	649

6.3.2.3.2	Vorbehandlung	651
6.3.2.3.3	Elektrotauchlackierung	653
6.3.2.3.4	Grund- und Decklackierung	654
6.3.2.4	Hohlraumkonservierung und Unterbodenschutz	655
6.3.2.4.1	Hohlraumkonservierung	656
6.3.2.4.2	Unterbodenschutz	656
6.3.2.5	Transportschutz	656
6.3.3	Ausblick	657
6.4	Fahrzeuginnenraum	659
6.4.1	Ergonomie	659
6.4.1.1	Bedeutung der Ergonomie in der Automobilgestaltung	659
6.4.1.2	Das Regelkreisparadigma der Ergonomie	660
6.4.1.2.1	Der Informationsfluss zwischen Fahrer und Fahrzeug	660
6.4.1.2.2	Das Belastungs-Beanspruchungskonzept der Ergonomie	663
6.4.1.2.3	Ergonomie und Komfort	664
6.4.1.3	Systemergonomische Gestaltung	666
6.4.1.3.1	Systemergonomische Regeln	667
6.4.1.3.2	Anzeigen	669
6.4.1.3.3	Bedienelemente	675
6.4.1.4	Anthropometrische Gestaltung	683
6.4.1.4.1	Kategorisierung anthropometrischer Maße und Menschmodelle	683
6.4.1.4.2	Pkw-Maßkonzeption nach SAE	686
6.4.1.4.3	Arbeitsfelder anthropometrischer Fahrzeuggestaltung	687
6.4.1.5	Zusammenfassung	693
6.4.2	Kommunikationssysteme und Navigation	693
6.4.2.1	Rundfunk und Entertainment	693
6.4.2.2	Telefonie	696
6.4.2.3	Mobile Datenkommunikation	697
6.4.2.4	Navigation	700
6.4.3	Innenraumbehaglichkeit/Thermischer Komfort	701
6.4.3.1	Komfortbedürfnisse der Fahrzeuginsassen	701
6.4.3.2	Funktionen und Aufbau von Klimageräten	703
6.4.3.2.1	Funktionen des Klimagerätes – Luft fördern	703
6.4.3.2.2	Funktionen des Klimagerätes – Luft reinigen	705
6.4.3.2.3	Funktionen des Klimagerätes – Luft temperieren und entfeuchten	706
6.4.3.2.4	Funktionen des Klimagerätes – Luft verteilen	709
6.4.3.2.5	Bauformen von Klimageräten	710
6.4.3.2.6	Mehrzonigkeit und Zusatzgeräte	711
6.4.3.3	Steuerung und Regelung von Klimaanlage	711
6.4.3.3.1	Regelung und Automatisierungsgrade	711

6.4.3.3.2	Bedienung	713
6.4.3.3.3	Aktuatorik, Sensorik	713
6.4.4	Fahrzeuginnenausstattung	714
6.4.4.1	Zur Geschichte des Innenraums	714
6.4.4.2	Anforderungen an Innenraum und Komponenten	714
6.4.4.2.1	Optik	714
6.4.4.2.2	Olfaktorik	715
6.4.4.2.3	Ergonomie	715
6.4.4.2.4	Haptik	715
6.4.4.2.5	Akustik	716
6.4.4.2.6	Sicherheit	716
6.4.4.2.7	Thermischer Komfort	716
6.4.4.3	Baugruppen des Innenraums	719
6.4.4.3.1	Cockpit/Tunnelkonsole	719
6.4.4.3.2	Sitze	720
6.4.4.3.3	Tür-, Seitenverkleidungen	722
6.4.4.3.4	Dachhimmel, Säulenverkleidung	722
6.4.4.3.5	Gepäckraum/Laderaum	723
6.4.4.3.6	Bodenverkleidung, Akustik	724
6.4.4.4	Entwicklungsablauf Innenraum	724
6.4.4.4.1	Lastenheft	724
6.4.4.4.2	Berechnung/Digital Mockup	724
6.4.4.4.3	Teilekonstruktion	725
6.4.4.4.4	Datenkontrollmodelle	726
6.4.4.4.5	Prototypen/Testing	726
6.4.4.4.6	Serienproduktion/Montage	726
6.4.4.4.7	Variantenmanagement	727
6.4.4.5	Ausblick	727
	Literatur	727
7	Fahrwerk	735
	<i>Dr.-Ing. Andreas Bootz, Dipl.-Ing. Steffen Gruber, Dr. Jens Holtschulze, Hugo Kroiss, Dr. Klaas Kunze, Dipl.-Ing. (FH) Roman Müller, Dr.-Ing. Axel Pauly, Dipl.-Ing. James Remfrey, Dr.-Ing. Hansjörg Rieger, Dr.-Ing. Erich Sagan, Dipl.-Ing. Martin Schwarz, Dipl.-Ing. Ludwig Seethaler, Dr.-Ing. Jan Sandler, Dipl.-Ing. Hubert Strobl, Dipl.-Ing. Thomas Unterstraßer und Dipl.-Phys. Heiner Volk</i>	
7.1	Einführung	736
7.1.1	Definition des Begriffs Fahrwerk	736
7.1.2	Aufgaben des Fahrwerks	736
7.1.3	Fahrdynamik und Fahrwerkskräfte	738

7.1.3.1	Querdynamik: Fahrwerkskräfte in Querrichtung	738
7.1.3.1.1	Lenken der Räder	739
7.1.3.1.2	Querverschiebung des Radaufstandspunktes	740
7.1.3.1.3	Stabilisieren des Fahrzeugs auf einer vorgegebenen Bahn	741
7.1.3.2	Längsdynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeuglängsrichtung	741
7.1.3.3	Vertikaldynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeughochrichtung	743
7.1.4	Basis-Zielkonflikte	744
7.1.5	Ausblick	746
7.2	Bremssysteme	746
7.2.1	Einführung	746
7.2.2	Auslegung von Bremssystemen	749
7.2.2.1	Physikalische Grundlagen	750
7.2.2.2	Bremskraftverteilung	752
7.2.2.3	Bremspedalcharakteristik	753
7.2.2.4	Thermische Dimensionierung	755
7.2.2.5	Auslegungsaspekte bei regenerativen Bremssystemen	756
7.2.3	Bremssystemkomponenten	756
7.2.3.1	Bremspedal	756
7.2.3.2	Bremskraftverstärker	758
7.2.3.3	Vakuumpumpe	759
7.2.3.4	(Tandem)-Hauptzylinder	759
7.2.3.5	Ausgleichbehälter	759
7.2.3.6	Bremsflüssigkeit	760
7.2.3.7	Bremsleitungen und -schläuche	761
7.2.3.8	Bremskraftverteiler	761
7.2.3.9	Hydraulisch/Elektronische Regeleinheit (HECU)	761
7.2.3.10	Scheibenbremsen	764
7.2.3.11	Bremsscheiben	768
7.2.3.12	Bremsbeläge	770
7.2.3.13	Trommelbremsen	770
7.2.4	Sensoren	772
7.2.4.1	Betätigungswegsensor	773
7.2.4.2	Raddrehzahlsensor	773
7.2.4.3	Beschleunigungssensor	774
7.2.4.4	Gierratensensor	775
7.2.4.5	Lenkradwinkelsensor	775
7.2.4.6	Drucksensor	775
7.2.4.7	Abstandssensoren	776
7.2.5	Assistenzfunktionen des Bremssystems	776

7.2.5.1	Antiblockiersystem (ABS)	776
7.2.5.2	Elektronische Bremskraftverteilung (EBV)	782
7.2.5.3	Erweitertes Stabilitäts-Bremssystem (ABSplus)	783
7.2.5.4	Antriebsschlupfregelung (ASR)	783
7.2.5.5	Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP/DSC/VSC/...)	784
7.2.5.6	Bremsassistent (MBA, EBA, HBA)	785
7.2.5.7	Erweiterte Bremskraftverstärkungsfunktionen	787
7.2.5.8	Active Rollover Protection (ARP)	787
7.2.5.9	Abstandsregelsysteme	787
7.2.5.10	Elektrische Feststellbremse (Parkbremse) EPB	788
7.2.6	Neue und zukünftige Systemarchitekturen	790
7.2.6.1	Entkoppelte Bremssysteme	790
7.2.6.2	Regeneratives Bremssystem	796
7.2.6.3	Vernetztes Chassis	797
7.2.6.4	Ausblick	799
7.3	Reifen, Räder, Gleitschutzketten	800
7.3.1	Einführung	800
7.3.2	Reifenaufbau	800
7.3.3	Anforderungen an Reifen	801
7.3.3.1	Gebrauchseigenschaften	802
7.3.3.2	Gesetzliche Anforderungen	806
7.3.3.3	Reifen und Räder, Normung	806
7.3.3.4	Reifenkennzeichnung, EU-Label	806
7.3.4	Kraftübertragung Reifen–Fahrbahn	808
7.3.4.1	Tragverhalten	808
7.3.4.2	Kraftschlussverhalten, Aufbau von Horizontalkräften	808
7.3.4.3	Antreiben und Bremsen; Umfangskräfte	810
7.3.4.4	Schräglauflauf; Kräfte und Momente	812
7.3.4.5	Reifen unter Quer- und Längsschlupf	813
7.3.4.6	Reifengleichförmigkeit	814
7.3.5	Reifen als integraler Baustein des Gesamtsystems Fahrzeug	815
7.3.5.1	Reifenmechanik, Materialeigenschaften	815
7.3.5.2	Reifenmodelle	817
7.3.5.3	Gesamtmodelle	817
7.3.5.4	Beschreibung des Fahrverhaltens	818
7.3.5.5	Synergien zwischen Reifen und anderen Systemkomponenten	818
7.3.5.6	Reifensysteme mit Notlaufeigenschaften	818
7.3.6	Zukünftige Reifentechnologien	819
7.3.6.1	Reifenbezogene Zusatzprodukte	819

7.3.6.2	Reifendruckkontrolle	819
7.3.6.3	Auf Reifen abgestimmte Komponenten im Fahrwerk	820
7.3.6.4	Materialentwicklung	820
7.3.6.5	Reifen mit erweiterten Funktionen	820
7.3.7	Räder	821
7.3.7.1	Einführung/Historie	821
7.3.7.2	Normung/Terminologie	821
7.3.7.3	Wesentliche Herstellverfahren	822
7.3.7.4	Serieneinsatz (Marktanteile heute und in Zukunft)	822
7.3.7.5	Entwicklungs-Methodik	822
7.3.7.5.1	CAD Konstruktion	822
7.3.7.5.2	Finite Elemente Analyse	822
7.3.7.5.3	Prüfstandserprobung	823
7.3.7.5.4	Fahrerprobung im Rahmen der Fahrzeugentwicklung (Dauerläufer)	826
7.3.7.5.5	Entwicklungstendenzen zur Methodik	826
7.3.7.6	Fertigungsverfahren – Weiterentwicklung	826
7.3.7.6.1	Stahlrad	826
7.3.7.6.2	Leichtmetallrad	826
7.3.7.6.3	Kunststoff-Rad (Composite-Rad)	828
7.3.7.7	Gewichtsrelationen	828
7.3.7.8	Größenrelationen	828
7.3.7.9	Rad/Reifen – Besondere Aspekte	828
7.3.7.10	Energiebetrachtung bei Herstellung/Recycling	829
7.3.7.11	Umweltschonung	830
7.3.8	Gleitschutzketten	830
7.3.8.1	Einleitung	830
7.3.8.2	Wirkungsprinzip von Gleitschutzketten	830
7.3.8.3	Aufbau von Gleitschutzketten	830
7.3.8.3.1	Laufnetzformen	830
7.3.8.3.2	Greifelemente	830
7.3.8.3.3	Dimensionierung	831
7.3.8.4	Kraftübertragung Kette–Fahrbahn	831
7.3.8.5	Montagesysteme	832
7.4	Fahrwerkauslegung	834
7.4.1	Kinematik der Radaufhängung	834
7.4.1.1	Radhubkinematik	834
7.4.1.2	Lenkkinematik	838
7.4.2	Elastokinematik	839

7.4.2.1	Wirkung von Bauteilelastizitäten	839
7.4.2.2	Elastomerlager	840
7.4.2.3	Wirkung äußerer Kräfte	847
7.4.3	Radaufhängungen	851
7.4.3.1	Starrachsen	852
7.4.3.2	Einzelradaufhängungen	853
7.4.3.3	Verbundachsen	856
7.4.4	Federung, Dämpfung, Stabilisatoren	857
7.4.4.1	Tragfeder	858
7.4.4.2	Stabilisierung	863
7.4.4.3	Schwingungsdämpfung	864
7.4.4.4	Vertikaldynamiksysteme	868
7.4.4.5	Ausblick	873
7.4.5	Lenkung	874
7.4.5.1	Lenkungs kinematik	877
7.4.5.2	Lenkgetriebe und -gestänge	886
7.4.5.3	Lenkunterstützung	889
7.4.6	Aktive Lenksysteme	895
7.4.6.1	Einleitung	895
7.4.6.2	Aktive Vorderradlenkungen	896
7.4.6.2.1	Aktive Servolenkungen	896
7.4.6.2.2	Lenkungen mit aktiv veränderlicher Übersetzung	897
7.4.6.2.3	Überlagerungslenkungen	897
7.4.6.2.4	Integration von Überlagerungslenkung und geregelter Servolenkung	900
7.4.6.2.5	„Steer by wire“-Lenksysteme	900
7.4.6.3	Aktive Hinterradlenkungen	901
7.4.6.3.1	Hinterradlenkungen ohne fahrdynamische Regelung	902
7.4.6.3.2	Hinterradlenkungen mit fahrdynamischer Regelung	905
7.4.6.4	Aktive geregelte Vorder- und Hinterachslenksysteme	906
7.5	Beurteilungskriterien	908
7.5.1	Subjektive Fahreigenschaftsbeurteilung	908
7.5.2	Objektive Fahreigenschaftsbeurteilung	909
7.5.2.1	Geradeausfahrt	911
7.5.2.2	Kurvenverhalten	912
7.5.2.3	Übergangsverhalten	914
7.5.2.4	Weitere Testverfahren	915
7.5.2.5	Ausblick	916
	Literatur	917

8	Elektrik/Elektronik/Software	925
	<i>Dr. Heinz-Bernhard Abel, Dr. Heinrich-Jochen Blume, Prof. Dr. rer. nat. Ludwig Brabetz, Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Broy, Dipl.-Ing. Simon Fürst, Dr. Lothar Ganzelmeier, Dr. Jörg Helbig, Dipl.-Ing. Gerhard Heyen, Dr. rer. soc. Meike Jipp, Dipl.-Ing. Günther Kasties, Prof. Dr.-Ing. Peter Knoll, Dr.-Ing. Olaf Krieger, Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer, Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer, Dr. Wolfgang Pfaff, Dr.-Ing. Thomas Scharnhorst und Dr.-Ing. Guido Schneider</i>	
8.1	Bedeutung Elektrik/Elektronik/Software für das Automobil	926
8.1.1	Einleitung	926
8.1.2	Entwicklungsprozess und Technologie	930
8.1.3	Neue Anforderungen an Entwicklungsprozess und Technologie	931
8.1.3.1	Eigenschaften des Entwicklungsprozesses	931
8.1.3.2	Systemintegration	935
8.1.4	AUTOSAR	937
8.1.4.1	Zunehmender Umfang des Standards und Pflege der existierenden Versionen	937
8.1.4.2	Die drei Bereiche der Standardisierung von AUTOSAR Software-Plattformen	938
8.1.4.2.1	Softwarearchitektur	938
8.1.4.2.2	Entwurfsmethodik	939
8.1.4.2.3	Anwendungsschnittstellen	940
8.1.4.3	Eine neue Klasse von Steuergeräten entsteht	940
8.1.4.4	Der nächste Technologiesprung von AUTOSAR: Die AUTOSAR Adaptive Plattform	940
8.1.4.5	Die Integration verschiedener Plattformen	942
8.1.4.6	Fazit zu AUTOSAR	942
8.2	Das Bordnetz	943
8.2.1	Einführung	943
8.2.2	Bestandteile des Bordnetzes	943
8.2.2.1	Übersicht	943
8.2.2.2	Randbedingungen	943
8.2.2.3	Leitungen	947
8.2.2.4	Knotenpunkte	948
8.2.2.5	Sicherungen	949
8.2.2.6	Steckverbindungen, Gehäuse	950
8.2.2.7	Steckverbindungen, Kontakte	952
8.2.3	Auslegungskriterien	953
8.2.3.1	Qualitätsorientierte Bordnetzauslegung	953
8.2.3.2	Leitungsverlegung	954
8.2.3.3	Leitungsstrangfertigung	956
8.2.3.4	Variantenbildung	958
8.2.3.5	Logistik und Fahrzeugmontage	959

8.2.4	Architektur des Bordnetzes	959
8.2.4.1	Topologie, Koppel- und Trennstellen	959
8.2.4.2	Systemarchitektur	961
8.2.4.3	Energieversorgung und Absicherung	962
8.2.4.4	Signalverteilung	964
8.2.4.5	Optimierung über Varianten	964
8.2.4.6	Bordnetzstabilisierung	966
8.2.4.7	Bordnetzspannungen	967
8.2.4.8	Hochvoltbordnetze	968
8.2.5	Der Bordnetz-Entwicklungsprozess	970
8.2.5.1	Abläufe	970
8.2.5.1.1	Konzeptphase	970
8.2.5.1.2	Serienentwicklung	972
8.2.5.1.3	Erprobung	973
8.2.5.2	CAE und CAD-Werkzeuge	974
8.2.5.3	Lieferantenstruktur	977
8.2.6	Entwicklungstrends	977
8.3	Kommunikationsbordnetze	977
8.4	Elektromagnetische Verträglichkeit – EMV	988
8.4.1	Eigenentstörung	988
8.4.2	Störfestigkeit gegen externe elektromagnetische Felder	990
8.4.3	Fernentstörung	990
8.4.4	Normen und Richtlinien	990
8.4.5	Sicherstellung der EMV	992
8.5	Funktionsdomänen	992
8.5.1	Einleitung	992
8.5.2	Beleuchtung	992
8.5.2.1	Zulassung	993
8.5.2.2	Lichttechnische Begriffe	993
8.5.2.3	Scheinwerfer	993
8.5.2.3.1	Historische Entwicklung	993
8.5.2.3.2	Scheinwerferarten	994
8.5.2.3.3	Reflektoren	994
8.5.2.3.4	Abschlusscheiben	996
8.5.2.3.5	Lichtquellen	997
8.5.2.3.6	Bi-Xenon-Scheinwerfer	1000
8.5.2.3.7	Intelligente Scheinwerfer	1001
8.5.2.3.8	LED-Scheinwerfer	1002

8.5.2.3.9	Scheinwerfer-Einstellung und Leuchtweitenregulierung	1004
8.5.2.3.10	Lichtbewertung	1004
8.5.2.4	Tagfahrlicht und Positionslicht	1005
8.5.2.5	Zusatzscheinwerfer	1006
8.5.2.6	Signalleuchten	1006
8.5.2.6.1	Lichtquellen für Signalleuchten	1007
8.5.2.6.2	Bauformen von Signalleuchten	1008
8.5.2.6.3	Neuentwicklungen adaptiver Signalfunktionen	1008
8.5.2.7	Innenbeleuchtung und Einstiegsleuchten	1008
8.5.2.8	Beleuchtungsstyling	1009
8.5.3	Instrumentierung für die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion	1009
8.5.3.1	Einleitung	1009
8.5.3.2	Informationsdarstellung	1010
8.5.3.2.1	Kombinations-Instrument	1010
8.5.3.2.2	Beleuchtung	1011
8.5.3.2.3	Weitere Display-Arten im Cockpit	1012
8.5.3.3	Head-up-Display (HUD)	1012
8.5.3.4	Eingabeelemente	1013
8.5.3.5	Connectivity	1014
8.5.3.6	Holistischer HMI Ansatz und Automatisiertes Fahren	1015
8.5.3.7	Ausblick	1015
8.5.4	Infotainment/Multimedia	1016
8.5.4.1	Einleitung	1016
8.5.4.2	Broadcast	1017
8.5.4.2.1	Audio Broadcast	1017
8.5.4.2.2	Video Broadcasting	1018
8.5.4.3	Medien	1019
8.5.4.3.1	Lokale Medienquellen	1019
8.5.4.3.2	Connectivity	1019
8.5.4.4	HMI	1023
8.5.4.4.1	Herausforderungen	1023
8.5.4.4.2	HMI Struktur	1024
8.5.4.4.3	Ausgabegeräte	1025
8.5.4.4.4	Eingabegeräte	1026
8.5.4.5	Architektur	1028
8.5.4.5.1	Hardwarearchitektur im Fahrzeug	1028
8.5.4.5.2	Infotainment – Interne Hardwarearchitektur	1032
8.5.4.5.3	Infotainment-Softwarearchitekturen	1032

8.5.4.6	Ausblick	1036
8.5.4.7	Fahrzeugantennen	1037
8.5.5	Fahrerassistenzsysteme	1042
8.5.5.1	Unfallursachen und Fahrerassistenzsysteme zu ihrer Vermeidung	1042
8.5.5.2	Fahrerassistenz	1043
8.5.5.3	Fahrzeugkommunikationssysteme	1043
8.5.5.4	Fahrerassistenzsysteme zur Fahrzeugstabilisierung	1044
8.5.5.5	Prädiktive Fahrerassistenzsysteme	1044
8.5.5.5.1	Sensoren für Fahrerassistenzsysteme	1045
8.5.5.5.2	Ultranahbereichssensoren in Ultraschalltechnik	1045
8.5.5.5.3	Fernbereichsradar 77 GHz	1045
8.5.5.5.4	Fernbereichslidar	1046
8.5.5.5.5	Nahbereichssensoren	1046
8.5.5.5.6	Video-Sensor	1046
8.5.5.6	Fahrerassistenzsysteme für Komfort und Sicherheit	1047
8.5.5.6.1	Einparkhilfe-Systeme	1047
8.5.5.6.2	Adaptive Cruise Control (ACC)	1048
8.5.5.6.3	Prädiktive Sicherheitssysteme (Predictive Safety Systems, PSS)	1049
8.5.5.6.4	Bildgebende Video Systeme	1051
8.5.5.6.5	Videosysteme mit Bildverarbeitung	1053
8.5.5.7	Adaptive Systeme	1056
8.5.5.8	Zusammenfassung und Ausblick	1057
8.5.6	Telematik	1059
8.5.6.1	Grundlagen und Technologien der Verkehrstelematik	1059
8.5.6.2	Endgeräte	1061
8.5.6.3	Dienstleistungen der Zukunft	1062
8.6	Mensch-Technik-Kooperation	1064
8.6.1	Wann ist die Mensch-Technik-Kooperation gut? Definition von Zielkriterien	1065
8.6.1.1	Performanz	1065
8.6.1.2	Belastung und Beanspruchung	1066
8.6.1.3	Situationsbewusstsein	1066
8.6.1.4	Usability	1067
8.6.1.5	Vertrauen	1068
8.6.2	Der Mensch im System	1068
8.6.3	Automations- und Assistenzsysteme für den Fahrer	1069
8.6.3.1	Automationssysteme	1069
8.6.3.2	Fahrerassistenzsysteme	1071
8.6.4	Fahrer-Fahrzeug-Kommunikation	1071

8.6.5	Evaluation	1073
8.6.5.1	Modellierung	1073
8.6.5.2	Studien	1073
8.6.6	Zusammenfassung	1075
8.7	Software	1075
8.7.1	Vorbemerkungen zum Thema Software	1076
8.7.2	Softwareentwicklungsprozess.....	1076
8.7.2.1	Einbettung in den Systementwicklungsprozess	1077
8.7.2.2	Anforderungsanalyse und –spezifikation.....	1078
8.7.2.3	Design und Architektur	1078
8.7.2.4	Implementierung und Modultest.....	1079
8.7.2.5	Integration	1079
8.7.2.6	Validierung und Verifikation.....	1079
8.7.2.7	Produktion und Wartung	1080
8.7.3	Erfolgsfaktoren	1080
8.7.3.1	Modellbildung	1080
8.7.3.2	MMI	1081
8.7.3.3	Qualitätssicherung	1081
8.7.4	Entkopplung von Infrastruktur und Plattformen	1082
8.7.5	Produktlinien.....	1082
8.7.6	Anwendungsfelder	1083
8.7.6.1	Fahrerassistenzsysteme	1083
8.7.6.2	Automatisches Fahren	1084
8.7.6.3	Infotainment	1084
8.7.6.4	Vernetzung nach Außen	1084
8.7.6.5	Karosserie- und Komfortfunktionen	1084
8.7.6.6	Sicherheitsfunktionen	1084
8.7.7	Technische Herausforderungen zur Software im Fahrzeug	1085
8.7.7.1	Zuverlässigkeit	1085
8.7.7.2	Diagnose und Wartung	1085
8.7.7.3	Softwarewartung und -logistik	1086
8.7.7.4	Vernetzung im Fahrzeug	1086
8.7.7.5	Multiplexing, Zeitbeherrschung und Determinismus	1087
8.7.7.6	Funktionale Sicherheit	1087
8.7.7.7	IT-Security	1087
8.7.8	Potenzial durch innovative Software	1087
8.7.9	Organisatorische Herausforderungen	1088
8.7.9.1	Prozesse	1088
8.7.9.2	Impakt und langfristige Perspektiven	1089

8.8	Moderne Methoden der Regelungstechnik	1089
8.8.1	Anforderungen an Regelsysteme im Kraftfahrzeug	1089
8.8.2	Moderne Reglerentwurfverfahren	1090
8.8.2.1	Adaptive Regelung	1090
8.8.2.2	Fuzzy-Regelung	1091
8.8.2.3	Γ -Synthese	1091
8.8.2.4	Neuronale Regelung	1092
8.8.2.5	Norm-optimale Regelung	1092
8.8.2.6	Prädiktive Regelung	1093
8.8.2.7	Quantitative Feedback Theory (QFT)	1093
8.8.3	Evaluierung moderner Regelungsverfahren	1094
8.8.4	Anwendungsbeispiel Fahrdynamikregelung	1095
8.8.5	Ausblick	1096
	Literatur	1097
9	Fahrzeugsicherheit	1105
	<i>Prof. Dr.-Ing. Mark Gonter, Dipl.-Ing. Andre Leschke und Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert</i>	
9.1	Allgemein	1106
9.2	Gebiete der Fahrzeugsicherheit	1106
9.3	Ergebnisse aus der Unfallforschung	1108
9.3.1	Einleitung	1108
9.3.2	Amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik	1108
9.3.3	Verkehrsunfalldaten der Versicherungen	1109
9.3.4	„In-Depth“ Unfallerhebungen	1109
9.4	Unfallvermeidende Sicherheit	1113
9.4.1	Assistenzsysteme der Fahrzeugebene	1113
9.4.2	Assistenzsysteme mit Umfeldsensorik	1114
9.4.2.1	Systeme der Längsführung	1114
9.4.2.2	Systeme der Querführung	1115
9.4.2.3	Systeme der Quer- und Längsführung	1116
9.4.2.4	Nachtassistent	1116
9.5	Biomechanik und Schutzkriterien	1117
9.5.1	Biomechanik	1117
9.5.1.1	Grundlagen	1117
9.5.1.2	Belastungsgrenzen	1118
9.5.2	Schutzkriterien	1119
9.5.3	Simulationseinrichtungen	1121
9.5.3.1	Kopf	1121
9.5.3.2	Bein, Hüfte	1121

9.5.3.3	Rumpf	1121
9.5.3.4	Gesamtkörper	1122
9.6	Quasistatische Anforderungen an die Karosserie und Komponenten	1123
9.6.1	Sitz- und Sicherheitsgurtverankerungspunkttests	1123
9.6.2	Dachfestigkeit	1123
9.6.3	Seitenstruktur	1123
9.7	Dynamische Fahrzeugkollision	1124
9.7.1	Frontale Kollision	1124
9.7.2	Seitliche Kollisionen	1127
9.7.3	Heckkollision	1127
9.7.4	Fahrzeugüberschlag	1127
9.8	Insassenschutz	1129
9.8.1	Fahrzeuginnenraum	1129
9.8.2	Rückhaltesysteme	1129
9.8.2.1	Sicherheitsgurte	1130
9.8.2.2	Kinderrückhaltesysteme	1131
9.8.2.3	Airbag-Systeme	1132
9.8.2.4	Sitze, Sitzlehne und Kopfstütze	1133
9.8.3	Zusammenwirken von Rückhaltesystemen und Fahrzeug	1133
9.8.3.1	Insasse	1133
9.8.3.2	Angelegter Dreipunktgurt	1134
9.8.3.3	Airbag-Systeme	1134
9.8.4	Adaptiver Insassenschutz	1135
9.8.4.1	Anforderungen durch das Unfallgeschehen	1135
9.8.4.2	Airbag-Steuerungskonzepte	1136
9.8.4.3	Insassen- und unfallschwerespezifische Adaptivität	1136
9.8.5	Seitenkollisionen	1137
9.8.5.1	Theoretische Betrachtung	1138
9.8.5.2	In den USA und Europa definierte Seitenaufpralltests	1139
9.8.6	Kompatibilität	1139
9.8.6.1	Allgemeine Aussage	1139
9.8.6.2	PKW/PKW-Kollision	1140
9.8.6.3	Pkw/Lkw-Kollision	1141
9.8.6.4	Fußgängerkollision	1141
9.8.6.5	Zusammenfassung	1141

9.9	Integrale Sicherheit	1142
9.9.1	Fahrer, Fahrzeug und Umfeld	1143
9.9.2	PreCrash	1144
9.9.2.1	Automatischer Bremsengriff	1145
9.9.2.2	Präventiv wirkender Insassenschutz	1145
9.9.2.3	Irreversible Rückhaltesysteme	1146
9.9.3	Integraler Fußgängerschutz	1148
9.9.4	Multikollisionsbremse	1149
9.9.5	Von der Lenkunterstützung bis zum Eingriff beim automatischen Fahren	1149
9.9.6	Consumer- und Gesetzestests für aktive Sicherheitssysteme	1150
9.9.7	Entwicklungsprozess integraler Funktionen	1152
9.9.7.1	Simulation vorausschauender Sicherheitssysteme	1152
9.9.7.2	Funktionale Sicherheit	1153
9.9.7.3	Rechnerunterstützung bei der Entwicklung von Sicherheitskomponenten	1154
9.9.8	Retten und Bergen	1154
9.9.9	Car2X Safety – Ausblick	1155
9.9.9.1	Kooperatives Fahren	1157
9.10	Sicherheit von elektrischen Fahrzeugen	1157
9.11	Zusammenfassung	1158
Literatur		1158
 10	 Werkstoffe und Fertigungsverfahren	 1163
	<i>Dr. Ludwig Hamm, Berthold Krautkrämer, Reinhart Malik, Dipl.-Ing. Volker Peitz, Dr.-Ing. Robert Plank und Dr. Peter Solfrank</i>	
10.1	Ein Blick zurück	1164
10.2	Werkstoffe moderner Kraftfahrzeuge	1167
10.2.1	Materialanteile im Automobilbau	1167
10.2.2	Fortschritte in den Leistungsmerkmalen	1169
10.2.2.1	Festigkeit und Verarbeitung	1169
10.2.2.1.1	Stahlwerkstoffe	1169
10.2.2.1.2	Leichtmetalle	1175
10.2.2.1.3	Edelmetalle	1187
10.2.2.1.4	Kunststoffe	1188
10.2.2.2	Tribologie	1197
10.2.2.3	Korrosionsschutz	1200
10.2.3	Fortschritte in der Fügechnik	1202
10.2.3.1	Schweißen und Löten	1202
10.2.3.2	Mechanische Fügeverfahren	1203
10.2.3.3	Kleben	1206

10.2.4	Fortschritte in der Um- und Umformung	1208
10.2.4.1	Metalle	1208
10.2.4.1.1	Innenhochdruckumformen	1208
10.2.4.1.2	Hydromechanisches Umformen	1209
10.2.4.1.3	Zwei-Platinen-Innenhochdruckumformen	1210
10.2.4.1.4	Kaltfließpressen	1211
10.2.4.1.5	Gießtechnik	1212
10.2.4.1.6	Schmieden	1214
10.2.4.1.7	Schmiedestahl	1215
10.2.4.2	Polymere	1215
10.2.5	Fortschritte in der Umweltverträglichkeit	1218
10.2.6	Thermoelektrizität und mögliche Anwendungen im Pkw	1223
10.2.7	Nanotechnologie (im Automobil)	1225
10.3	Wettbewerb und Zusammenspiel der Werkstoffe	1233
10.4	Wälzlager im Fahrzeugbau	1234
10.4.1	Einleitung	1234
10.4.2	Gebräuchliche Wälzlager-Bauarten	1235
10.4.2.1	Einreihige Rillenkugellager	1235
10.4.2.2	Nadellager, Nadelkränze	1235
10.4.2.3	Kegelrollenlager	1235
10.4.3	Auslegung von Wälzlagern	1237
10.4.3.1	Wellen- und Lagerberechnung nach Formelsammlung	1237
10.4.3.2	Wellen- und Lagerberechnung mittels spezieller Software	1238
10.4.4	Exemplarische Ausführungen aus der jüngeren Wälzlager-Entwicklung	1238
10.4.4.1	Wälzgelagerter Turbolader	1239
10.4.4.2	Radlager	1239
10.4.4.3	Beispiele für richtungsweisende Technologien mit Wälzlagerung	1243
10.4.4.3.1	Doppelkupplungs-Systeme	1243
10.4.4.3.2	Ausgleichswellen mit direkter Wälzlagerung	1243
10.4.4.3.3	Kugelgewinde-Antrieb	1244
10.4.4.3.4	CVT-Getriebe	1244
10.4.4.3.5	Leichtbau-Differenzial	1245
10.4.4.3.6	Hybridantriebe	1245
10.4.4.3.7	Wälzlagerung des Kurbeltriebs im Verbrennungsmotor	1246
10.4.5	Schmierung und Schmierstoffe für Wälzlager	1247
Literatur		1249

11	Produktentstehungsprozess	1257
	<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans-Hermann Braess, Prof. Dr.-Ing. Thomas Breitling, Jürgen Weissinger, Dipl.-Ing. Norbert Grawunder, Dr.-Ing. Ulrich Hackenberg, Prof. Dr.-Ing. Volker Lisowsky und Dr.-Ing. Ulrich Widmann</i>	
11.1	Simultaneous Engineering und Projektmanagement im Produktentstehungsprozess	1258
11.1.1	Einleitung	1258
11.1.2	Produktentstehungsprozess	1259
11.1.2.1	Organisationsformen	1259
11.1.2.2	Projektorganisation eines OEM	1261
11.1.2.3	PEP-Ablauf und Meilenstein-Definition	1262
11.1.3	Produktplanung	1263
11.1.4	Innovationsmanagement	1265
11.1.5	Produktinhalte, Lastenhefte, Gesetze	1266
11.1.6	Konzeptentwicklung	1267
11.1.7	Produkt Daten Management (PDM)	1268
11.1.8	Product Lifecycle Management (PLM)	1269
11.1.9	Serienentwicklung	1270
11.1.9.1	Strak	1270
11.1.9.2	Datenkontrollprozess	1271
11.1.9.3	Planungsfreigabe	1271
11.1.9.4	Virtuelle Entwicklung	1272
11.1.9.5	Fahrzeugerprobung	1273
11.1.9.6	Änderungsmanagement und Launch-Freigabe	1275
11.1.9.7	Meisterbock	1275
11.1.9.8	Breitenabsicherung	1275
11.1.10	Serienbetreuung	1275
11.1.11	Ausblick	1276
11.2	Fahrzeugkonzeption in der frühen Entwicklungsphase	1276
11.2.1	Einführung	1276
11.2.1.1	Definition	1276
11.2.1.2	Zielsetzung der frühen Entwicklungsphase	1277
11.2.1.3	Fahrzeugkonzeptinhalte der frühen Phase	1277
11.2.2	Vorgehensweise	1278
11.2.2.1	Prozess	1278
11.2.2.2	Digitaler Prototyp	1278
11.2.2.3	Tools	1280
11.2.3	Beispiele	1281
11.2.3.1	Fahrdynamik	1281
11.2.3.2	Passive Sicherheit – Betriebsfestigkeit	1282

11.2.3.3	Aerodynamik	1282
11.2.3.4	Fahrleistung und Verbrauch	1282
11.2.4	Ausblick	1282
11.3	Berechnung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung	1283
11.3.1	Einleitung	1283
11.3.2	CAE-Prozess und notwendige Infrastruktur in der Produktentstehung	1283
11.3.2.1	CAE-Einsatz in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen	1284
11.3.2.2	Digitale Prototypen	1286
11.3.2.3	Computer Ressourcen für CAE	1288
11.3.3	Anwendungsgebiete und Methoden	1289
11.3.3.1	Finite Elemente Berechnungen	1289
11.3.3.1.1	Statik und Dynamik	1292
11.3.3.1.2	Sicherheit	1297
11.3.3.2	Mehrkörpersystem-Simulationen	1301
11.3.3.3	Strömungssimulation	1303
11.3.3.4	Elektrik-/Elektronik-Simulation	1311
11.3.3.5	Simulation in der Produktion	1318
11.3.3.6	Gekoppelte virtuelle-reale Systeme	1322
11.3.3.7	Querschnittsthemen	1325
11.4	Mess- und Versuchstechnik	1329
11.4.1	Kurzer Rückblick	1329
11.4.2	Grundsätzliches zur Mess- und Versuchstechnik im Automobilbau	1329
11.4.3	Einige ausgewählte Beispiele	1335
11.4.4	Zur Effizienz der Mess- und Versuchstechnik	1338
11.5	Qualitätsmanagement	1340
11.6	Betrieb und Instandhaltung von Kraftfahrzeugen	1343
11.6.1	Einführung	1343
11.6.1.1	Definitionen	1344
11.6.1.2	Entwicklungstendenzen	1345
11.6.2	Instandhaltbarkeit und Zuverlässigkeit	1345
11.6.2.1	Zuverlässigkeitskenngrößen	1346
11.6.2.2	Weibullverteilung	1346
11.6.2.3	Anwendung von Zuverlässigkeitskenngrößen	1348
11.6.3	Lebenslaufkosten	1349
11.6.3.1	Anschaffungskosten	1349
11.6.3.2	Gesetzgeber abhängige Kosten	1350
11.6.3.3	Versicherungskosten	1350
11.6.3.4	Betriebskosten	1350
11.6.3.5	Werkstattkosten	1350

11.6.4	Organisation des Service-Prozesses in den Werkstätten	1351
11.6.5	Instandhaltungsgerechte Konstruktion	1352
11.6.5.1	Ziele und Anforderungen zur Instandhaltbarkeit	1352
11.6.5.2	Werkstattkostenfaktor Zeit (Instandhaltungszeit, Planzeiten)	1353
11.6.5.3	Kostenfaktor Werkstattausrüstung, Spezialwerkzeuge	1354
11.6.5.4	Ersatzteile, Zerlegungstiefe, Transport-, Lagerfähigkeit und Lieferzeitraum	1355
11.6.5.5	Nachweis der Instandhaltbarkeit	1356
11.6.5.6	Datensysteme	1356
11.6.5.7	Virtuelle Beurteilung der Servicefreundlichkeit	1357
11.6.5.8	Berichtswesen	1358
11.6.6	Strategie und Konzept	1358
11.6.6.1	Instandhaltungsstrategien	1358
11.6.6.2	Instandhaltungskonzept	1358
11.6.6.3	Anforderungen zur Instandhaltbarkeit	1359
11.6.6.4	Kunden- und Lieferantenbeziehungen	1359
11.6.6.5	Rolle des Managements	1359
11.6.6.6	Einfluss der EU	1360
11.6.6.7	Einfluss alternativer Antriebskonzeptionen	1360
Literatur		1361
12	Rennfahrzeuge	1371
	<i>Dipl.-Ing. Carsten Dieterich, Dipl.-Ing. Christoph Müller und Dipl.-Ing. (FH) Frank Nysten</i>	
12.1	Einsatzbedingungen	1372
12.1.1	Sportbehörde	1372
12.1.2	Technik-Reglement	1372
12.1.3	Sport-Reglement	1372
12.2	Fahrzeug-Kategorien	1373
12.3	Bauweise	1375
12.3.1	Monocoque	1375
12.3.1.1	Struktur	1375
12.3.1.2	Entwicklung	1376
12.3.1.3	Fertigung	1376
12.3.2	Bodywork	1377
12.3.3	Antrieb	1377
12.3.3.1	Motor	1377
12.3.3.2	Energierückgewinnungssysteme	1378
12.3.4	Getriebe	1379
12.3.5	Fahrwerk	1381
12.3.5.1	Achskonzept	1381
12.3.5.2	Federungssystem	1382

12.3.5.3	Dämpfungssystem	1382
12.3.5.4	Abstimmung	1382
12.4	Performance und Rundenzeit	1383
12.4.1	Fahrzeugparameter	1383
12.4.2	Sensitivität der direkt messbaren Fahrzeugparameter	1383
12.4.3	Entwicklungspotenzial	1383
12.5	Entwicklung Aerodynamik und Fahrdynamik	1385
12.5.1	Aerodynamische Effizienz und Aerobalance	1385
12.5.2	Einflussgrößen auf die Aerodynamik	1386
12.5.2.1	Radeinschlag beim Lenken	1386
12.5.2.2	Gierwinkel und Schräganströmung	1386
12.5.2.3	Mechanische Fahrwerksabstimmung	1387
12.5.2.4	Durchströmung des Fahrzeugs	1387
12.5.3	Aerodynamik und Reifeneinfluss	1388
12.5.4	Aerodynamik und Fahrdynamik	1389
12.6	Zuverlässigkeit	1390
	Literatur	1390
13	Ausblick – Wo geht es hin?	1391
	<i>Prof. Dr.-Ing. Stefan Pischinger und Prof. Dr.-Ing. Ulrich Seiffert</i>	
	Literatur	1394
	Serviceteil	1395
	Sachverzeichnis	1396