

Inhaltsverzeichnis

1	Mobilität	1
	<i>Alexander Nase, Michael Wittler und Jan Ackermann</i>	
1.1	Megatrends	2
1.2	Arten und Ursachen der Personenmobilität	4
1.2.1	Definitionen	4
1.2.2	Arten der Personenmobilität	4
1.2.3	Treiber für Mobilität	7
1.3	Spannungsfelder und Auswirkungen der Mobilität	8
1.4	Anforderungen an Kraftfahrzeuge	11
	Literatur	13
2	Anforderungen, Zielkonflikte, Grundlagen	15
	<i>Andre Seeck, Jost Christian Gail, Bernd Lorenz, Marek Zöller, Ulrich Seiffert, Egbert Fritzsche, Heinz Mankau, Carsten Repmann, Andreas Eilemann, Matthias Jung, Eberhardt Pantow, Achim Wiebelt und Josef Honeder</i>	
2.1	Gesetzgebung	16
2.1.1	Einleitung	16
2.1.2	Regelungsvorbereitende Forschung	16
2.1.2.1	Nationale Forschung	16
2.1.2.2	EU-Forschung	17
2.1.2.3	European Enhanced Vehicle-Safety Committee (EEVC)	19
2.1.2.4	Forschung auf UNECE-Ebene	20
2.1.3	Anforderungen der Gesetzgebung	21
2.1.3.1	Nationale Anforderungen	21
2.1.3.2	Europäische Anforderungen	23
2.1.3.3	Inhalte der verbindlichen Vorschriften für Kraftfahrzeuge	25
2.1.4	Anforderungen des Verbraucherschutzes	35
2.1.4.1	Euro NCAP	36
2.1.4.2	Global NCAP und Verbraucherschutzprogramme in anderen Regionen der Welt	40
2.1.5	Normen	40
2.1.5.1	Einleitung	40
2.1.5.2	Nationale und internationale Struktur	41
2.1.5.3	Grundregeln der Normungsarbeit und Anwendung von Normen	41
2.1.5.4	Erarbeitung einer Norm	42
2.1.5.5	Facharbeit in Normenausschüssen	43
2.1.5.6	Normung in der Automobiltechnik	43
2.1.5.7	Aufgaben des NAAutomobil	44
2.1.5.8	Normungsfelder	44
2.1.5.9	Nutzen der Normung	45
2.2	Fahrzeugphysik	46
2.2.1	Grundlagen	46
2.2.1.1	Definitionen	48
2.2.1.2	Fahrwiderstand und Antrieb	48

2.2.1.3	Kraftstoffverbrauch beeinflussende Maßnahmen	51
2.2.1.4	Dynamische Kräfte	51
2.2.1.5	Weitere Definitionen	52
2.2.2	Aerodynamik	52
2.2.2.1	Grundlagen	52
2.2.2.2	Wirkungsbereiche	55
2.2.2.3	Einordnung in die Gesamtentwicklung	65
2.2.3	Wärmetechnik	65
2.2.3.1	Kühlung von Verbrennungsmotoren	65
2.2.3.2	Beheizen und Kühlen des Fahrgastraumes	72
2.2.3.3	Komponenten und Systeme zur Heizung und Kühlung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen	80
2.2.3.4	Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge	84
2.2.4	Akustik und Schwingungen	86
2.2.4.1	Einleitung	86
2.2.4.2	Fahrgeräusche	88
2.2.4.3	Antriebsgeräusch	90
2.2.4.4	Rollgeräusch	100
2.2.4.5	Windgeräusch	101
2.2.4.6	Mechatronische Geräusche	103
2.2.4.7	Klappern, Knarzen, Quietschen	108
2.2.4.8	Außengeräusch	108
2.2.4.9	Schwingungskomfort	113
2.2.4.10	Akustik und Schwingungen beim Elektrischen Fahren	117
2.2.4.11	Prozess Akustikentwicklung	118
	Literatur	118
3	Gesamtfahrzeug	125
	<i>Klaus Wolff, Hans Dieter Futschik, August Achleitner, Christiaan Burgers und Gernot Döllner</i>	
3.1	Design	126
3.1.1	Der Design Prozess	126
3.1.1.1	Kreative Konzeptphase	126
3.1.1.2	3D-Entwicklung	128
3.1.1.3	Physische Design Modelle	130
3.1.1.4	Color und Trim	131
3.1.1.5	Design Freeze	131
3.1.2	Design und Markenimage	131
3.1.2.1	Neue Automobilfirma	132
3.1.2.2	Etablierte Automobilfirma	132
3.1.3	Designstudien und Advanced Design	134
3.2	Fahrzeugkonzept und Package	135
3.2.1	Einführung und Definition	135
3.2.1.1	Definition Fahrzeugkonzept	135
3.2.1.2	Definition Package	135
3.2.2	Gestaltung von Fahrzeugkonzepten	136
3.2.2.1	Außenabmessungen und Fahrzeugklassen	136
3.2.2.2	Aufbauausprägungen und Konzeptsegmente	137

3.2.2.3	Fahrzeuggrundformen	140
3.2.2.4	Sitzigkeit, Gepäckraum und Innenraumvariabilität	142
3.2.2.5	Wesentliche Innenraumabmessungen	142
3.2.2.6	Aggregate- und Antriebsstrangkonzpte	145
3.2.2.7	Elektrifizierung des Antriebsstrangs	152
3.2.2.8	Fahrzeuggewicht	153
3.2.3	Einflussfaktoren und Gestaltungsfelder des Package	154
3.2.3.1	Gesetze und Vorschriften	154
3.2.3.2	Innenraummaßkonzeption	154
3.2.3.3	Konzeptbeeinflussende Maßketten	157
3.2.3.4	Ausgewählte Aspekte des Packages	159
3.2.3.5	Anforderungen aus Produktion und Kundendienst	160
3.2.3.6	Einfluss von Plattform und Baukästen	161
3.2.4	Beispiele ausgewählter Fahrzeugkonzepte in unterschiedlichen Klassen	161
3.2.4.1	Beispiele nach Fahrzeuggrößenklasse	161
3.2.4.2	Beispiele nach Fahrzeugausprägung	162
3.2.5	Konzeption und Packageprozess in der industriellen Praxis	164
3.2.6	Entwicklung der Fahrzeugkonzepte	166
	Literatur	166
4	Karosserie	169
	<i>Lothar Teske, Helmut Goffmann, Heinrich Timm, Armin Plath, Walter Pecho, Martin Derks, Sebastian Veith, Marc Reinstettel, Christian Rauber und Klaus Werner Thomer</i>	
4.1	Karosseriebauweisen	170
4.1.1	Selbsttragende Karosserie	170
4.1.1.1	Entwicklungsanforderungen	170
4.1.1.2	Außenhaut	170
4.1.1.3	Package	172
4.1.1.4	Karosseriestruktur	174
4.1.1.5	Karosserieeigenschaften	181
4.1.1.6	Ausblick	184
4.1.2	Aluminium Space Frame – ASF	184
4.1.2.1	Einleitung	184
4.1.2.2	AUDI-Aluminium Space Frame – ASF	184
4.1.2.3	Das Karosseriekonzept des Audi-ASF	188
4.1.2.4	Der Aufbau der ASF Karosserie A8 (D3)	188
4.1.2.5	Werkstoffe und Fertigungstechnologien	193
4.1.2.6	Fügeverfahren	197
4.1.2.7	Reparaturkonzept	200
4.1.2.8	Energiebilanz	201
4.1.3	Leichtbaulösungen im Karosseriebau	202
4.1.3.1	Die Zukunft der Stahlkarosserie „FutureSteelVehicle“	202
4.1.4	Cabriolet	210
4.1.4.1	Einführung	210
4.1.4.2	Rohbau	211
4.1.4.3	Sicherheitsrelevante Auslegung von Cabriolets	213
4.1.4.4	Aeroakustik	214

4.1.4.5	Türen	216
4.1.4.6	Dachsystem	216
4.2	Materialien der Karosserie	221
4.2.1	Historischer Rückblick	221
4.2.2	Konzepte und Bauweisen	222
4.2.3	Anforderungen und Auslegungskriterien an die Werkstoffe der Karosserie	224
4.2.4	Typische Karosseriewerkstoffe	227
4.2.4.1	Stahlwerkstoffe	227
4.2.4.2	Aluminiumlegierungen	230
4.2.4.3	Magnesiumlegierungen	231
4.2.4.4	Kunststoffe	231
4.2.5	Sortenreine Beispiele	235
4.2.5.1	Stahl Seitenrahmen	235
4.2.5.2	Aluminium Seitentür	236
4.2.5.3	Hardtop als Sandwichkonstruktion	236
4.2.6	Mischbauweisen	236
4.2.6.1	Mischbau in der Karosserie	236
4.2.7	Materialspezifische Aspekte der Fertigungstechnik	237
4.2.7.1	Tailored products	237
4.2.7.2	Superplastisches Umformen (SPF)	238
4.2.7.3	Innenhochdruckumformen (IHU)	238
4.2.7.4	Folientechnik als Alternative zur Nasslackierung	239
4.2.7.5	Fügeverfahren	241
4.2.7.6	Additive Fertigung	241
4.3	Oberflächenschutz	243
4.3.1	Nutzen des Oberflächenschutzes	243
4.3.1.1	Korrosionsschutz	243
4.3.1.2	Oberflächenschutz	244
4.3.2	Entwicklung und Produktion des Oberflächenschutzes	245
4.3.2.1	Blechvorbeschichtung	245
4.3.2.2	Maßnahmen in der Karosseriekonstruktion	245
4.3.2.3	Maßnahmen in der Produktion	247
4.3.2.4	Hohlraumkonservierung und Unterbodenschutz	253
4.3.3	Ausblick	255
	Literatur	257
5	Fahrwerk	261
	<i>Axel Pauly, Steffen Gruber, Jan Sendler, Heiner Volk, Ludwig Seethaler, Michael Sattler, Markus Viertböck, Erich Sagan, Martin Schwarz und Thomas Unterstraßer</i>	
5.1	Einführung	262
5.1.1	Definition des Begriffs Fahrwerk	262
5.1.2	Aufgaben des Fahrwerks	263
5.1.3	Fahrdynamik und Fahrwerkskräfte	264
5.1.3.1	Querdynamik: Fahrwerkskräfte in Querrichtung	265
5.1.3.2	Längsdynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeuglängsrichtung	268
5.1.3.3	Vertikaldynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeughochrichtung	269
5.1.4	Basis-Zielkonflikte	271
5.1.5	Ausblick	272

5.2	Bremssysteme	274
5.2.1	Einführung	274
5.2.2	Auslegung von Bremssystemen	274
5.2.2.1	Physikalische Grundlagen	275
5.2.2.2	Bremskraftverteilung	277
5.2.2.3	Bremspedalcharakteristik	279
5.2.2.4	Thermische Dimensionierung	280
5.2.2.5	Auslegungsaspekte bei rekuperativen Bremssystemen	281
5.2.3	Bremssystemkomponenten	283
5.2.3.1	Bremspedal	283
5.2.3.2	Bremskraftverstärker	283
5.2.3.3	Vakuumpumpe	284
5.2.3.4	(Tandem)-Hauptzylinder	285
5.2.3.5	Ausgleichbehälter	285
5.2.3.6	Bremsflüssigkeit	286
5.2.3.7	Bremsleitungen und -schläuche	286
5.2.3.8	Bremskraftverteiler	287
5.2.3.9	Hydraulisch/Elektronische Regeleinheit (HECU)	288
5.2.3.10	Scheibenbremsen	290
5.2.3.11	Bremsscheiben	295
5.2.3.12	Bremsbeläge	297
5.2.3.13	Trommelbremsen	297
5.2.4	Sensoren	299
5.2.4.1	Betätigungswegsensor	300
5.2.4.2	Raddrehzahlsensor	300
5.2.4.3	Beschleunigungssensor	301
5.2.4.4	Gierratensensor	302
5.2.4.5	Lenkradwinkelsensor	302
5.2.4.6	Drucksensor	303
5.2.4.7	Abstandssensoren	303
5.2.5	Assistenzfunktionen des Bremssystems	303
5.2.5.1	Antiblockiersystem (ABS)	304
5.2.5.2	Elektronische Bremskraftverteilung (EBV)	310
5.2.5.3	Erweitertes Stabilitäts-Bremssystem (ABSplus)	310
5.2.5.4	Antriebsschlupfregelung (ASR)	310
5.2.5.5	Motor-Schleppmomenten-Regelung (MSR)	311
5.2.5.6	Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESC/ESP/DSC/VSC/...)	312
5.2.5.7	Active Rollover Protection (ARP)	313
5.2.5.8	Trailer Stability Assist (TSA)	313
5.2.5.9	Bremsassistent (MBA, EBA, HBA)	313
5.2.5.10	Erweiterte Bremskraft-verstärkungsfunktionen	315
5.2.5.11	Abstandsregelsysteme	315
5.2.5.12	Hill Descent Control (HDC)	316
5.2.5.13	Elektrische Feststellbremse (Parkbremse) EPB	316
5.2.6	Neue und zukünftige Systemarchitekturen	319
5.2.6.1	Entkoppelte Bremssysteme	319
5.2.6.2	Rekuperatives Bremssystem	323

5.2.6.3	Vernetztes Chassis	326
5.2.6.4	Ausblick	328
5.3	Reifen, Räder	329
5.3.1	Einführung	329
5.3.2	Reifenaufbau	330
5.3.3	Anforderungen an Reifen	331
5.3.3.1	Gebrauchseigenschaften	331
5.3.3.2	Gesetzliche Anforderungen	335
5.3.3.3	Reifen und Räder, Normung	335
5.3.3.4	Reifenkennzeichnung, EU-Label	336
5.3.4	Kraftübertragung Reifen–Fahrbahn	337
5.3.4.1	Tragverhalten	337
5.3.4.2	Kraftschlussverhalten, Aufbau von Horizontalkräften	338
5.3.4.3	Antreiben und Bremsen; Umfangskräfte	340
5.3.4.4	Schräglauf; Kräfte und Momente	341
5.3.4.5	Reifen unter Quer- und Längsschlupf	343
5.3.4.6	Reifengleichförmigkeit	343
5.3.5	Reifen als integraler Baustein des Gesamtsystems Fahrzeug	344
5.3.5.1	Reifenmechanik, Materialeigenschaften	345
5.3.5.2	Reifenmodelle	347
5.3.5.3	Gesamtmodelle	347
5.3.5.4	Beschreibung des Fahrverhaltens	348
5.3.5.5	Synergien zwischen Reifen und anderen Systemkomponenten	348
5.3.5.6	Reifensysteme mit Notlaufeigenschaften	348
5.3.6	Zukünftige Reifentechnologien	349
5.3.6.1	Reifenbezogene Zusatzprodukte	349
5.3.6.2	Reifendruckkontrolle	349
5.3.6.3	Auf Reifen abgestimmte Komponenten im Fahrwerk	350
5.3.6.4	Materialentwicklung	350
5.3.6.5	Reifen mit erweiterten Funktionen	351
5.3.7	Räder	351
5.3.7.1	Einführung/Historie	351
5.3.7.2	Normung/Terminologie	352
5.3.7.3	Wesentliche Herstellverfahren	352
5.3.7.4	Serieneinsatz (Marktanteile heute und in Zukunft)	352
5.3.7.5	Entwicklungs-Methodik	352
5.3.7.6	Fertigungsverfahren – Weiterentwicklung	356
5.3.7.7	Gewichtsrelationen	359
5.3.7.8	Größenrelationen	359
5.3.7.9	Rad/Reifen – Besondere Aspekte	359
5.3.7.10	Energiebetrachtung bei Herstellung/Recycling	360
5.3.7.11	Umweltschonung	360
5.4	Fahrwerkauslegung	360
5.4.1	Kinematik der Radaufhängung	360
5.4.1.1	Radhubkinematik	361
5.4.1.2	Lenkkinematik	363
5.4.2	Elastokinematik	364
5.4.2.1	Wirkung von Bauteilelastizitäten	365

5.4.2.2	Elastomerlager	366
5.4.2.3	Wirkung äußerer Kräfte	373
5.4.3	Radaufhängungen	377
5.4.3.1	Starrachsen	379
5.4.3.2	Einzelradaufhängungen	379
5.4.3.3	Verbundachsen	383
5.4.4	Federung, Dämpfung, Stabilisatoren	384
5.4.4.1	Tragfeder	384
5.4.4.2	Stabilisierung	390
5.4.4.3	Schwingungsdämpfung	391
5.4.4.4	Vertikaldynamiksysteme	395
5.4.4.5	Ausblick	402
5.4.5	Lenkung	403
5.4.5.1	Lenkungskinematik	403
5.4.5.2	Lenkstrang	413
5.4.5.3	Lenkgetriebe und -gestänge	418
5.4.5.4	Lenkunterstützung	421
5.4.6	Aktive Lenksysteme	428
5.4.6.1	Einleitung	428
5.4.6.2	Aktive Vorderradlenkungen	429
5.4.6.3	Aktive Hinterradlenkungen	435
5.4.6.4	Aktive geregelte Vorder- und Hinterachslenksysteme	438
5.5	Beurteilungskriterien	440
5.5.1	Subjektive Fahreigenschaftsbeurteilung	440
5.5.2	Objektive Fahreigenschaftsbeurteilung	441
5.5.2.1	Geradeausfahrt	443
5.5.2.2	Kurvenverhalten	445
5.5.2.3	Übergangsverhalten	447
5.5.2.4	Weitere Testverfahren	449
5.5.2.5	Ausblick	450
	Literatur	451
6	Antriebe	461
	<i>Henning Baumgarten, Marius Böhmer, Michael Hinz, Martin Nijs, Stefan Pischinger, Mike Souren, Matthias Thewes, Bernd Lindemann, Thomas Flecke, Axel König, Joschka Schaub, Markus Schönen, Dominik Lückmann, Dennis Bönner, Emmanuel Jean, Markus Huber, Klaas Kunze, Jakob Andert, Andreas Krings, René Scheer, Konstantin Etzold, Marc Klawitter, Michael Stapelbroek, Jörg Kaiser, Mehdi Hosseininasab, Alexander Sauer, Rick W. De Doncker, Jochen Henn, Peter Antony, Christoph Schildhauer, Andreas Haag, Christian H. Mohrdieck, Uwe Sontheimer, Gerhard Gumpoltsberger, Jürgen Greiner, Alexander Bartha, Peter Frey, Robert Plank, Berthold Krautkrämer, Reinhart Malik, Peter Solfrank, Hermann Pecnik, Heribert Lanzer, Georg Eichner, Gerhard Kurz, Bastian Lehrheuer, Benedikt Heuser und Helmut Eichlseder</i>	
6.1	Grundlagen der Motorentechnik	462
6.1.1	Prozess des Verbrennungsmotors	462
6.1.1.1	Viertakt-Verfahren	465
6.1.1.2	Zweitakt-Verfahren	465

6.1.2	Definitionen und Kenngrößen	466
6.1.2.1	Leistungskenngrößen	466
6.1.2.2	Spezifische Motorkenngrößen	466
6.1.2.3	Wirkungsgrade	467
6.1.3	Bauarten	469
6.1.3.1	Hubkolbenmotoren	469
6.1.3.2	Rotationskolbenmotoren	477
6.1.3.3	Range Extender Aggregate	478
6.1.3.4	Konstruktive Anforderungen an Verbrennungsmotoren für hybride Antriebsstränge ..	478
6.1.4	Konstruktion und Motormechanik	480
6.1.4.1	Kurbelgehäuse	480
6.1.4.2	Kurbelwelle	482
6.1.4.3	Pleuel	483
6.1.4.4	Kolben	484
6.1.4.5	Zylinderkopf und Dichtung	485
6.1.4.6	Ventiltrieb und Steuertrieb	486
6.1.4.7	Motorkühlung	495
6.1.4.8	Motorschmierng	498
6.1.4.9	Saugrohr	501
6.1.4.10	Nebenaggregate und Package	502
6.1.5	Ottomotoren	506
6.1.5.1	Ladungswechsel	506
6.1.5.2	Gemischbildung	515
6.1.5.3	Zündung	529
6.1.5.4	Downsizing und Aufladung	533
6.1.5.5	Verbrennung	538
6.1.5.6	Wassereinspritzung	540
6.1.5.7	Abgasreinigung	541
6.1.5.8	Motormanagement	551
6.1.6	Dieselmotor	556
6.1.6.1	Historie des Dieselmotors	556
6.1.6.2	Motortechnische Grundlagen	560
6.1.6.3	Konstruktive und funktionale Merkmale des Dieselmotors	567
6.1.6.4	Motorsteuerung	579
6.1.6.5	Abgasnachbehandlung	582
6.1.6.6	Real Driving Emissions (RDE)	594
6.1.6.7	On-Board-Diagnose	597
6.1.6.8	Dieseldieselkraftstoffe	600
6.1.6.9	Elektrifizierung des Dieselantriebs	604
6.1.6.10	Die Zukunft des Dieselmotors	605
6.1.7	Aufladung	611
6.1.7.1	Rückblick und Stellenwert der Aufladung von Motoren	611
6.1.7.2	Motivation	612
6.1.7.3	Mechanische Aufladung, Kompressoraufladung	613
6.1.7.4	Abgasturboaufladung	614
6.1.7.5	Sonstige Aufladesysteme	616
6.1.7.6	Elektrifizierte Aufladesysteme	616
6.1.7.7	Konstruktiver Aufbau des Abgasturboladers	617

6.1.7.8 Wechselwirkung von Verbrennungsmotor und Turbolader	619
6.1.7.9 Methoden in der Entwicklung	628
6.1.8 Abgasanlagen	630
6.1.8.1 Aufgaben und Komponenten der Abgasanlage	630
6.1.8.2 Katalysatoren	632
6.1.8.3 Partikelfilter	634
6.1.8.4 Canning und Monolith-Lagerung	635
6.1.8.5 Schalldämpfer	636
6.1.8.6 Akustische Abstimmung	637
6.1.8.7 Körperschall	638
6.1.9 Kraftstoffsystem	639
6.1.9.1 Gesetzliche Vorschriften und kundenspezifische Anforderungen	639
6.1.9.2 Emissionen – technische Grundlagen	646
6.1.9.3 Kraftstoffbehälter	648
6.1.9.4 Befüllsystem	651
6.1.9.5 Ausgleichsvolumen und Be-/Entlüftungssystem	652
6.1.9.6 Füllstandserfassung	653
6.1.9.7 Kraftstoffförderung	655
6.1.9.8 Elektrische/elektronische Systemeinbindung	657
6.1.9.9 Besondere Anforderungen an die KVA bei hybridisierten Fahrzeugen	659
6.1.9.10 SCR System	660
6.1.9.11 Ausblick	660
6.1.10 Kraftstoffversorgungsanlagen für alternative Energieträger	662
6.1.10.1 Anforderungen	662
6.1.10.2 Gesetzliche Vorschriften	662
6.1.10.3 Anordnung im Fahrzeug	663
6.1.10.4 Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für Druckgas	664
6.1.10.5 Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für tiefkalt flüssige Gase	666
6.1.10.6 Speichersysteme für tiefkalte superkritische Gase	667
6.1.10.7 Entwicklungstendenzen	668
6.2 Elektrifizierte Antriebe	669
6.2.1 Elektrische Maschinen	669
6.2.1.1 Grundlagen elektrischer Energiewandlung	669
6.2.1.2 Topologien	675
6.2.1.3 Aufbau elektrischer Maschinen	679
6.2.1.4 Verlustmechanismen	681
6.2.2 Batterie	683
6.2.2.1 Einleitung	683
6.2.2.2 Zelltypen in der Lithiumionentechnologie	685
6.2.2.3 Anforderungen	687
6.2.2.4 Sicherheit	687
6.2.2.5 Batteriemanagementsystem	688
6.2.2.6 Laden	690
6.2.2.7 Zusammenfassung und Ausblick	691
6.2.3 Leistungselektronik	692
6.2.3.1 Einleitung	692
6.2.3.2 Beschreibung Antriebsstrang	692
6.2.3.3 Topologien Leistungselektronik	693

6.2.3.4 Funktionsweise Leistungselektronik – Modulationsstrategien	694
6.2.3.5 Halbleiterbauelemente	695
6.2.3.6 Verluste in der Leistungselektronik	695
6.2.3.7 Neue Halbleitermaterialien	696
6.2.3.8 Aufbau von Halbleiterschaltern	696
6.2.3.9 Gatetreiber	696
6.2.3.10 Merkmale von Leistungselektronik	697
6.2.3.11 Lebensdauer/Ausfallmechanismen	698
6.2.3.12 Monitoring	698
6.2.4 Hybridantrieb	698
6.2.4.1 Szenario	698
6.2.4.2 Hybridkonzepte und deren Einteilung	699
6.2.4.3 Hybrid Sportwagen	704
6.2.4.4 Betriebsstrategien	705
6.2.4.5 Antriebskomponenten aus Hybridsicht	707
6.2.4.6 Fahrzeugintegration	709
6.3 Brennstoffzellenantriebssysteme	710
6.3.1 Antriebsarchitektur mit PEM-Brennstoffzellen	712
6.3.1.1 Brennstoffzellen-Stack	712
6.3.1.2 Stack-Peripherie	716
6.3.1.3 Mobile Wasserstoffspeicher	717
6.3.1.4 Hybridisierter Brennstoffzellenantrieb	718
6.3.2 Sicherheit	719
6.3.3 Rechtsvorschriften und Standards	720
6.3.4 Brennstoffzellen-Fahrzeuge	720
6.3.4.1 Brennstoffzellen – Pkw und Transporter	720
6.3.4.2 Brennstoffzellen-Busse	722
6.3.4.3 Demonstrationen und Flottenversuche	722
6.3.4.4 Kraftstoffversorgung und Infrastruktur	723
6.3.4.5 Ausblick	725
6.4 Triebstrang	726
6.4.1 Überblick	726
6.4.1.1 Einleitung	726
6.4.1.2 Aufgaben des Getriebes	726
6.4.1.3 Aufbau und Elemente des Triebstrangs	729
6.4.1.4 Achsantrieb	729
6.4.1.5 Differenzialgetriebe	729
6.4.1.6 Allrad-Verteilergetriebe	730
6.4.1.7 Gelenkwellen	730
6.4.1.8 Schwingungssystem	731
6.4.2 Anfaherelemente	731
6.4.2.1 Kupplungen	731
6.4.2.2 Hydrodynamische Drehmomentwandler	737
6.4.3 Das Handschaltgetriebe-System	741
6.4.3.1 Funktion und Aufbau	741
6.4.3.2 Verzahnung	742
6.4.3.3 Synchronisierung	742
6.4.3.4 Weitere Getriebekomponenten	742

6.4.3.5	Getriebebeschaltung	743
6.4.3.6	Ausführungsbeispiele	744
6.4.3.7	Automatisierte Schaltgetriebe	745
6.4.4	Stufenautomatgetriebe	745
6.4.4.1	Funktionsweise	745
6.4.4.2	Aufbau	747
6.4.4.3	Baugruppen	748
6.4.4.4	Betätigung	752
6.4.4.5	Betriebsverhalten	753
6.4.4.6	Ausführungsbeispiele	754
6.4.5	Stufenlose Getriebe	757
6.4.5.1	Funktionsweise	757
6.4.5.2	Aufbau	758
6.4.5.3	Baugruppen	758
6.4.5.4	Betätigung	761
6.4.5.5	Betriebsverhalten	761
6.4.5.6	Ausführungsbeispiele	762
6.4.6	Doppelkupplungsgetriebe	762
6.4.6.1	Funktionen und Bauteile	763
6.4.6.2	Radsatzsynthese	766
6.4.7	Hybridantriebe	766
6.4.7.1	Hybridsysteme	766
6.4.7.2	Mikrohybrid	768
6.4.7.3	Mildhybrid und Vollhybrid	768
6.4.7.4	Verbrauchseinsparung	768
6.4.8	Elektronische Getriebesteuerung	769
6.4.8.1	Gesamtsystem	770
6.4.8.2	Steuergerät	771
6.4.8.3	Bauteile	772
6.4.8.4	Funktionen	773
6.4.9	Ausblick	776
6.5	Wälzlager im Fahrzeugbau	778
6.5.1	Einleitung	778
6.5.2	Gebräuchliche Wälzlager-Bauarten	779
6.5.2.1	Einreihige Rillenkugellager	779
6.5.2.2	Nadellager, Nadelkränze	779
6.5.2.3	Kegelrollenlager	779
6.5.3	Auslegung von Wälzlagern	779
6.5.3.1	Wellen- und Lagerberechnung nach Formelsammlung	779
6.5.3.2	Wellen- und Lagerberechnung mittels spezieller Software	782
6.5.4	Exemplarische Ausführungen aus der jüngeren Wälzlager-Entwicklung	782
6.5.4.1	Wälzgelagerter Turbolader	783
6.5.4.2	Radlager	784
6.5.4.3	Beispiele für richtungsweisende Technologien mit Wälzlagerung	787
6.5.5	Schmierung und Schmierstoffe für Wälzlager	791
6.6	Allradantriebe, Brems- und Antriebsregelungen	793
6.6.1	Allradantriebs-Konzepte	793
6.6.1.1	Verwendung von Allradantrieben	793

6.6.1.2	Kennlinien von Allradantrieben	794
6.6.1.3	Systematik der Antriebe	795
6.6.1.4	Systemkomponenten	796
6.6.1.5	Getriebeabtriebe	808
6.6.1.6	Systemauswahl	811
6.6.1.7	Einfluss auf Crashverhalten	811
6.6.1.8	Geräusch- und Schwingungstechnik Noise-Vibration-Harshness (NVH)	812
6.6.1.9	Dimensionierung	812
6.6.1.10	Allradantrieb und Regelsysteme	812
6.6.2	Antriebs- und Bremsregelung	814
6.6.2.1	Unfallvorbeugende Sicherheit	814
6.6.2.2	Traktionssysteme	814
6.6.2.3	Stabilitätssysteme	814
6.6.2.4	DSC, ESP mit Fremdkraft-Bremsanlage	821
6.6.2.5	Bremssysteme für Fahrzeuge mit Hybridantrieb	821
6.6.2.6	Sensorik	822
6.7	Konventionelle und alternative Kraftstoffe und Energieträger	822
6.7.1	Konventionelle Kraftstoffe und deren Eigenschaften	822
6.7.1.1	Bestandteile konventioneller Kraftstoffe	823
6.7.1.2	Kraftstoffeigenschaften	824
6.7.2	Alternative Kraftstoffe und Herstellungsverfahren	828
6.7.2.1	Biokraftstoffe	828
6.7.2.2	E-Fuels	834
6.7.3	Erdgas und Wasserstoff als Kraftstoffe	837
6.7.3.1	Erdgas	838
6.7.3.2	Wasserstoff	841
6.7.4	Wirkungsgrade der Kraftstoffherstellung, Kostenanalyse und Umweltauswirkung	843
6.7.4.1	Ausblick	845
	Literatur	846
7	Digitalisierung/Elektrik/Elektronik/Software	861
	<i>Simon Fürst, Thomas Scharnhorst, Ludwig Brabetz, Markus Beck, Roman Lahmeyer, Olaf Krieger, Günther Kasties, Wolfgang Pfaff, Roland Lachmayer, Heinz-Bernhard Abel, Heinrich-Jochen Blume, Gerhard Heyen und Guido Schneider</i>	
7.1	Bedeutung Elektrik/Elektronik/Software für das Automobil	862
7.1.1	Einleitung	862
7.1.2	Entwicklungsprozess und Technologie	864
7.1.3	Neue Anforderungen an Entwicklungsprozess und Technologie	865
7.1.3.1	Eigenschaften des Entwicklungsprozesses	866
7.1.3.2	Systemintegration	869
7.1.4	AUTOSAR	871
7.1.4.1	Zunehmender Umfang des Standards und Pflege der existierenden Versionen	872
7.1.4.2	Die drei Bereiche der Standardisierung von AUTOSAR Software-Plattformen	872
7.1.4.3	Eine neue Klasse von Steuergeräten entsteht	874
7.1.4.4	Der nächste Technologiesprung von AUTOSAR: Die AUTOSAR Adaptive Platform	875
7.1.4.5	Die Integration verschiedener Plattformen	877
7.1.4.6	Fazit zu AUTOSAR	877

7.2 Das Bordnetz	877
7.2.1 Einführung	877
7.2.2 Bestandteile des Bordnetzes	878
7.2.2.1 Übersicht	878
7.2.2.2 Randbedingungen	878
7.2.2.3 Leitungen	879
7.2.2.4 Knotenpunkte	881
7.2.2.5 Sicherungen	882
7.2.2.6 Steckverbindungen, Gehäuse	883
7.2.2.7 Steckverbindungen, Kontakte	885
7.2.3 Auslegungskriterien	887
7.2.3.1 Qualitätsorientierte Bordnetzauslegung	887
7.2.3.2 Leitungsverlegung	888
7.2.3.3 Leitungsstrangfertigung	889
7.2.3.4 Variantenbildung	891
7.2.3.5 Logistik und Fahrzeugmontage	893
7.2.4 Architektur des Bordnetzes	894
7.2.4.1 Topologie	894
7.2.4.2 Systemarchitektur	894
7.2.4.3 Absicherung	896
7.2.4.4 Bordnetzstabilisierung und Versorgungssicherheit	898
7.2.4.5 Bordnetzspannungen	901
7.2.4.6 Hochvoltbordnetze	902
7.2.4.7 Signalverteilung	905
7.2.5 Der Bordnetz-Entwicklungsprozess	905
7.2.5.1 Abläufe	905
7.2.5.2 CAE und CAD-Werkzeuge	908
7.2.6 Entwicklungstrends	911
7.3 Bordnetz System	911
7.3.1 Ausgangssituation	911
7.3.2 Der Klauenpolgenerator im Energiebordnetz	912
7.3.2.1 Leistungs- und Wirkungsgradverhalten	913
7.3.2.2 Überspannungsschutz	914
7.3.2.3 Generator mit Schnittstellenregler	914
7.3.3 Elektrische Speicher im Energiebordnetz	915
7.3.3.1 Blei-Säure Batterien	915
7.3.3.2 Traktionsspeicher	917
7.3.4 Energiebordnetze für konventionelle Fahrzeuge	918
7.3.4.1 Energiebordnetze für Start/Stopp Fahrzeuge	918
7.3.4.2 Zwei-Batterien-Bordnetze	919
7.3.4.3 Elektrisches Energiemanagement EEM in konventionellen Fahrzeugen	920
7.3.5 Energiebordnetze für Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang	924
7.3.5.1 Elektrifizierte Antriebsstränge	925
7.3.5.2 Elektromotoren	925
7.3.5.3 Energiespeicher	925
7.3.5.4 Sicherheitsanforderungen in Hochvolt-Bordnetzen	926

7.4 Kommunikationsbordnetze	926
7.4.1 CAN	928
7.4.1.1 CAN Physical Layer	928
7.4.1.2 CAN Data Link Layer	928
7.4.1.3 CAN-FD	929
7.4.2 LIN (Local Interconnect Network)	930
7.4.2.1 LIN Physical Layer	930
7.4.2.2 LIN Data Link Layer	930
7.4.3 FlexRay	930
7.4.3.1 Der Physical Layer des FlexRay	931
7.4.3.2 Der Data Link Layer des FlexRay	931
7.4.4 MOST (Media Oriented System Transport)	932
7.4.4.1 Der Physical Layer des MOST	932
7.4.4.2 Der MOST Data Link Layer und höhere Protokollschichten	932
7.4.5 Ethernet und IP	933
7.4.5.1 Ethernet	933
7.4.5.2 Die TCP/IP Protokollfamilie	936
7.4.5.3 Audio Video Transport Protocol (AVTP)	936
7.4.6 Weitere Vernetzungstechnologien im Fahrzeug	939
7.4.7 Diagnosekommunikation	939
7.5 Telematik	940
7.5.1 Grundlagen und Technologien der Verkehrstelematik	940
7.5.2 Endgeräte	942
7.5.3 Dienstleistungen der Zukunft	943
7.6 Elektromagnetische Verträglichkeit – EMV	945
7.6.1 Eigenemission	946
7.6.2 Störfestigkeit gegen externe elektromagnetische Felder	947
7.6.3 Fernemission	948
7.6.4 Normen und Richtlinien	948
7.6.5 Sicherstellung der EMV	950
7.7 Funktionsdomänen	950
7.7.1 Einleitung	950
7.7.2 Beleuchtung	950
7.7.2.1 Zulassung	951
7.7.2.2 Lichttechnische Begriffe	951
7.7.2.3 Scheinwerfer	952
7.7.2.4 Tagfahrlicht und Positionslicht	964
7.7.2.5 Zusatzscheinwerfer	965
7.7.2.6 Signalleuchten	965
7.7.2.7 Innenbeleuchtung und Einstiegsleuchten	968
7.7.2.8 Beleuchtungsstyling	968
7.7.3 Systemlösungen für die Nutzer-Fahrzeug-Interaktion	969
7.7.3.1 Einleitung	969
7.7.3.2 Anzeigen und Bedienung	970
7.7.3.3 Connectivity – Implikationen für die Cockpit Architektur	974
7.7.3.4 Interaktionskonzepte für das Automatisierte Fahren	974
7.7.3.5 Ausblick	975

7.7.4	Infotainment/Multimedia	976
7.7.4.1	Einleitung	976
7.7.4.2	Broadcast	976
7.7.4.3	Medien	979
7.7.4.4	HMI	984
7.7.4.5	Architektur	989
7.7.4.6	Ausblick	997
7.7.5	Fahrzeugantennen	998
	Literatur	1003
8	Fahrerassistenzsysteme und Automatisiertes Fahren	1009
	<i>Klaus Bengler, Klaus Dietmayer, Lutz Eckstein, Christoph Stiller und Hermann Winner</i>	
8.1	Einführung und Grundlagen	1011
8.1.1	Motivation	1011
8.1.2	Faktor Mensch	1012
8.1.3	Einteilung der Fahrerassistenzsysteme und des automatisierten Fahrens	1013
8.1.3.1	Informierende Funktionen (Kategorie A)	1014
8.1.3.2	Kontinuierlich wirkende automatisierende Funktionen (Kategorie B)	1014
8.1.3.3	Eingreifende Notfallsysteme (Kategorie C)	1015
8.1.4	Funktionale Sicherheit von Fahrerassistenzsystemen	1015
8.2	Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion	1016
8.2.1	Fahrerassistenzsysteme	1016
8.3	Umfeldsensoren	1021
8.3.1	Radar	1021
8.3.1.1	Ausbreitung und Reflektion	1021
8.3.1.2	Abstands- und Radialgeschwindigkeitsmessung	1023
8.3.1.3	Radar-Antenne	1025
8.3.1.4	Stärken und Schwächen	1026
8.3.2	Lidar	1027
8.3.2.1	Grundbegriffe und Messprinzip	1027
8.3.2.2	Stärken und Schwächen	1028
8.3.3	Kamera-Sensoren und Bildverarbeitung	1029
8.3.3.1	Stärken und Schwächen	1030
8.4	Perzeptionsmethoden	1031
8.4.1	Begriffsbildung und Zielsetzung	1031
8.4.2	Gewinnung semantischer und erweiterter Objektinformationen	1032
8.4.2.1	Kamera-Sensoren	1032
8.4.2.2	Radar- und Lidar-Sensoren	1033
8.4.3	Methoden der Umgebungsrepräsentation	1033
8.4.4	Funktionale Gesamt-Architektur	1034
8.5	Digitale Infrastruktur	1035
8.5.1	Hochgenaue Digitale Karte und Lokalisierung	1035
8.5.2	Infrastruktur-Sensorik	1036
8.5.3	Fahrzeugkommunikation	1037
8.6	Aktoren	1038

8.7	Informierende und warnende Fahrerassistenzsysteme	1040
8.7.1	Zielsetzung und Klassifikation	1040
8.7.2	Gestaltungsprinzipien	1041
8.7.3	Ausführungsbeispiele	1043
8.8	Fahrerassistenzsysteme (Level 1 und 2)	1045
8.8.1	Adaptive Cruise Control	1045
8.8.1.1	Funktionalität	1045
8.8.1.2	Funktionsgrenzen	1046
8.8.2	Querführungsassistentz	1047
8.8.2.1	Motivation und Einordnung	1047
8.8.2.2	Wirkprinzipien und Funktionsweise	1048
8.8.2.3	Systembeispiele	1050
8.9	Eingreifende Fahrerassistenzsysteme	1051
8.9.1	Automatische Notbremse	1051
8.9.2	Automatisches Notausweichen	1053
8.9.3	Nothalte-Assistenten	1053
8.9.4	Auslegungsphilosophie eingreifende Assistenz vs. Automatisierung	1054
8.10	Automatisiertes Fahren	1054
8.10.1	Motivation, Chancen und Herausforderungen	1054
8.10.2	Beispielhafte Ausprägungen	1056
8.10.3	Level 3 – Hochautomatisiertes Fahren	1058
8.10.4	Level 4 – Vollautomatisiertes Fahren	1060
8.10.5	Level 5 – Fahrerloses Fahren	1060
8.10.6	Absicherung	1064
8.10.7	Zusammenfassung und Ausblick	1068
8.11	Schlussbemerkung	1069
	Literatur	1069
9	Fahrzeugsicherheit	1073
	<i>Mark Gonter, Peter Knoll, André Leschke, Ulrich Seiffert und Florian Weinert</i>	
9.1	Allgemein	1074
9.1.1	Gebiete der Fahrzeugsicherheit	1074
9.1.2	Fahrer, Fahrzeug und Umfeld	1075
9.2	Unfallfolgenmindernde Fahrzeugsicherheit	1077
9.2.1	Biomechanik und Schutzkriterien	1077
9.2.1.1	Belastungsgrenzen	1077
9.2.1.2	Schutzkriterien	1079
9.2.1.3	Versuchs- und Simulationseinrichtungen	1081
9.2.2	Quasistatische Anforderungen an die Karosserie und Komponenten	1081
9.2.3	Dynamische Fahrzeugkollision	1083
9.2.3.1	Frontale Kollision	1083
9.2.3.2	Seitliche Kollisionen	1087
9.2.3.3	Heckkollision	1087
9.2.3.4	Fahrzeugüberschlag	1087
9.2.4	Insassenschutz	1089
9.2.4.1	Fahrzeugstruktur	1089
9.2.4.2	Fahrzeuginnenraum	1090
9.2.4.3	Rückhaltesysteme	1090

9.2.4.4	Elektroniksysteme zur Crasherkenennung	1093
9.2.4.5	Airbagalgorithmen	1097
9.2.4.6	Zusammenwirken von Rückhaltesystemen und Fahrzeug	1103
9.2.4.7	Adaptiver Insassenschutz	1105
9.2.4.8	Seitenkollisionen	1107
9.2.5	Kompatibilität	1108
9.2.5.1	PKW/PKW-Kollision	1109
9.2.5.2	PKW/LKW-Kollision	1110
9.2.5.3	Fußgängerkollision	1110
9.2.6	Retten und Bergen	1110
9.2.7	Sicherheit von elektrischen Fahrzeugen	1112
9.3	Unfallvermeidende Sicherheit	1113
9.3.1	Assistenzsysteme der Fahrzeugebene	1113
9.3.1.1	Fahrerassistenzsysteme zur Fahrzeugstabilisierung	1113
9.3.2	Assistenzsysteme mit Umfeldsensorik	1114
9.3.2.1	Fahrerinformationssysteme	1114
9.3.2.2	Prädiktive Fahrerassistenzsysteme	1115
9.3.2.3	Sensoren für Fahrerassistenzsysteme	1115
9.3.2.4	Systeme der Längsführung	1118
9.3.2.5	Systeme der Querverführung	1121
9.3.2.6	Systeme der Quer- und Längsführung	1121
9.3.2.7	Adaptive Systeme	1124
9.3.2.8	Nachtassistent	1126
9.3.3	Assistenzsysteme durch Car-to-X-Kommunikation	1129
9.3.4	Consumer- und Gesetzestests für aktive Sicherheitssysteme	1132
9.3.5	Ausblick	1133
9.4	Integrale Sicherheit	1134
9.4.1	PreCrash – Vorkonditionierung unmittelbar vor einem Unfall	1135
9.4.1.1	Automatischer Bremsengriff	1136
9.4.1.2	Präventiv wirkender Insassenschutz	1137
9.4.1.3	Irreversible Rückhaltesysteme	1138
9.4.1.4	Ausblick	1138
9.4.2	Integraler Fußgängerschutz	1139
9.4.3	Multikollisionsbremse	1141
9.4.4	Entwicklungsprozess integraler Funktionen	1141
9.5	Bedeutung der Unfallforschung für den Entwicklungsprozess und zur Simulation von Sicherheitsfunktionen	1144
9.5.1	Amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik	1145
9.5.2	Verkehrsunfalldaten der Versicherungen	1145
9.5.3	„In-Depth“ Unfallerbhebungen	1145
9.5.4	Einfluss von Car2X Funktionen auf die Verkehrssicherheit	1149
9.5.5	Simulation vorausschauender Sicherheitssysteme	1150
9.6	Unfallfreies Fahren	1153
9.6.1	Kooperatives Fahren	1153
9.6.2	Entwicklung des autonomen Fahrens	1154
9.7	Zusammenfassung	1155
	Literatur	1156

10	Mensch-Technik-Kooperation und Fahrzeuginnenraum	1161
	<i>Karsten Lemmer, Meike Jipp, Heiner Bubb, Hans-Jörg Vögel, Matthias Jung, Georg Laukart und Thomas Vorberg</i>	
10.1	Mensch-Technik-Kooperation	1162
10.1.1	Wann ist die Mensch-Technik-Kooperation gut? Definition von Zielkriterien	1162
10.1.2	Menschliche Leistung und Leistungsfähigkeit	1162
10.1.2.1	Beanspruchung	1163
10.1.2.2	Situationsbewusstsein	1164
10.1.2.3	Vertrauen	1165
10.1.2.4	Usability	1166
10.1.3	Das Zusammenwirken von Mensch und Technik zur Erledigung der Fahraufgabe	1166
10.1.3.1	Der Mensch als informationsverarbeitendes Wesen	1166
10.1.3.2	Automationssysteme	1167
10.1.3.3	Fahrerassistenzsysteme	1169
10.1.3.4	Fahrer-Fahrzeug-Kommunikation	1170
10.1.4	Evaluation	1171
10.1.4.1	Modellierung	1171
10.1.4.2	Studien	1172
10.1.5	Zusammenfassung	1173
10.2	Fahrzeuginnenraum	1174
10.2.1	Ergonomie	1174
10.2.1.1	Bedeutung der Ergonomie in der Automobilgestaltung	1174
10.2.1.2	Das Regelkreisparadigma der Ergonomie	1175
10.2.1.3	Systemergonomische Gestaltung	1182
10.2.1.4	Anthropometrische Gestaltung	1199
10.2.1.5	Zusammenfassung	1210
10.2.2	Kommunikationssysteme und Navigation	1210
10.2.2.1	Rundfunk und Entertainment	1211
10.2.2.2	Telefonie	1213
10.2.2.3	Mobile Datenkommunikation	1215
10.2.2.4	Navigation	1218
10.2.3	Innenraumbehaglichkeit/Thermischer Komfort	1219
10.2.3.1	Komfortbedürfnisse der Fahrzeuginsassen	1219
10.2.3.2	Funktionen und Aufbau von Klimageräten	1221
10.2.3.3	Steuerung und Regelung von Klimaanlage	1228
10.2.4	Fahrzeuginnenausstattung	1230
10.2.4.1	Zur Geschichte des Innenraums	1230
10.2.4.2	Anforderungen an Innenraum und Komponenten	1231
10.2.4.3	Baugruppen des Innenraums	1233
10.2.4.4	Entwicklungsablauf Innenraum	1239
10.2.4.5	Ausblick	1242
	Literatur	1243

11	Rennfahrzeuge	1251
	<i>Carsten Dieterich, Frank Nysten und Christoph Müller</i>	
11.1	Einsatzbedingungen	1252
11.1.1	Sportbehörde	1252
11.1.2	Technik-Reglement	1252
11.1.3	Sport-Reglement	1252
11.2	Fahrzeug-Kategorien	1253
11.3	Bauweise	1255
11.3.1	Monocoque	1255
11.3.1.1	Struktur	1255
11.3.1.2	Entwicklung	1256
11.3.1.3	Fertigung	1256
11.3.2	Bodywork	1256
11.3.3	Antrieb	1256
11.3.3.1	Motor	1257
11.3.3.2	Energierückgewinnungssysteme	1258
11.3.4	Getriebe	1259
11.3.5	Fahrwerk	1261
11.3.5.1	Achskonzept	1261
11.3.5.2	Federungssystem	1261
11.3.5.3	Dämpfungssystem	1262
11.3.5.4	Abstimmung	1262
11.4	Performance und Rundenzeit	1262
11.4.1	Fahrzeugparameter	1262
11.4.2	Sensitivität der direkt messbaren Fahrzeugparameter	1263
11.4.3	Entwicklungspotenzial	1263
11.5	Entwicklung Aerodynamik und Fahrdynamik	1265
11.5.1	Aerodynamische Effizienz und Aerobalance	1265
11.5.2	Einflussgrößen auf die Aerodynamik	1266
11.5.2.1	Radeinschlag beim Lenken	1266
11.5.2.2	Gierwinkel und Schräganströmung	1266
11.5.2.3	Mechanische Fahrwerksabstimmung	1266
11.5.2.4	Durchströmung des Fahrzeugs	1267
11.5.3	Aerodynamik und Reifeneinfluss	1268
11.5.4	Aerodynamik und Fahrdynamik	1269
11.6	Zuverlässigkeit	1269
	Literatur	1270
12	Produktentstehungsprozess	1271
	<i>Ulrich Widmann, Jürgen Weissinger, Thomas Breitling, Ulrich Hackenberg, Kai Wundram und Stefan Goß</i>	
12.1	Simultaneous Engineering und Projektmanagement im Produktentstehungsprozess	1272
12.1.1	Einleitung	1272
12.1.2	Produktentstehungsprozess	1273
12.1.2.1	Organisationsformen	1273
12.1.2.2	Projektorganisation eines OEM	1275
12.1.2.3	PEP-Ablauf und Meilenstein-Definition	1276

12.1.3	Produktplanung	1278
12.1.4	Innovationsmanagement	1279
12.1.5	Produktinhalte, Lastenhefte, Gesetze	1281
12.1.6	Konzeptentwicklung	1281
12.1.7	Produkt Daten Management (PDM)	1283
12.1.8	Product Lifecycle Management (PLM)	1284
12.1.9	Serienentwicklung	1285
12.1.9.1	Strak	1285
12.1.9.2	Datenkontrollprozess	1286
12.1.9.3	Planungsfreigabe	1286
12.1.9.4	Virtuelle Entwicklung	1287
12.1.9.5	Fahrzeugerprobung	1288
12.1.9.6	Änderungsmanagement und Launch-Freigabe	1290
12.1.9.7	Meisterbock	1290
12.1.9.8	Breitenabsicherung	1290
12.1.10	Serienbetreuung	1291
12.1.11	Ausblick	1291
12.2	Fahrzeugkonzeption in der frühen Entwicklungsphase	1292
12.2.1	Einführung	1292
12.2.1.1	Definition	1292
12.2.1.2	Zielsetzung der frühen Entwicklungsphase	1292
12.2.1.3	Fahrzeugkonzeptinhalte der frühen Phase	1292
12.2.2	Vorgehensweise	1294
12.2.2.1	Prozess	1294
12.2.2.2	Digitaler Prototyp	1294
12.2.2.3	Tools	1295
12.2.3	Beispiele	1296
12.2.3.1	Fahrdynamik	1296
12.2.3.2	Passive Sicherheit – Betriebsfestigkeit	1297
12.2.3.3	Aerodynamik	1298
12.2.3.4	Fahrleistung und Verbrauch	1298
12.2.4	Ausblick	1298
12.3	Berechnung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung	1298
12.3.1	Einleitung	1298
12.3.2	CAE-Prozess und notwendige Infrastruktur in der Produktentstehung	1299
12.3.2.1	CAE-Einsatz in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen	1300
12.3.2.2	Digitale Prototypen	1302
12.3.2.3	Computer Ressourcen für CAE	1304
12.3.3	Anwendungsgebiete und Methoden	1305
12.3.3.1	Finite Elemente Berechnungen	1308
12.3.3.2	Mehrkörpersystem-Simulationen	1318
12.3.3.3	Strömungssimulation	1320
12.3.3.4	Elektrik-/Elektronik-Simulation	1329
12.3.3.5	Simulation in der Produktion	1336
12.3.3.6	Gekoppelte virtuelle-reale Systeme	1341
12.3.3.7	Querschnittsthemen	1344

12.4	Servicetechnik und -prozesse im After Sales	1348
12.4.1	Betrieb und Instandhaltung von Kraftfahrzeugen	1348
12.4.1.1	Die Marktbeteiligten in der After Sales Phase	1348
12.4.1.2	Fallunterscheidungen für ein für den Straßenverkehr zugelassenes Kfz	1350
12.4.1.3	Die Werkstatt als Schnittstelle zum Fahrzeughalter	1352
12.4.2	Methoden zur Betriebsabsicherung des Kfz in der After Sales Phase	1354
12.4.2.1	Der Serviceplan des OEM (Serviceheft)	1354
12.4.2.2	Der Bordcomputer (Predictive Maintenance)	1354
12.4.2.3	Die digitale Fahrzeugakte beim OEM	1355
12.4.2.4	Instandhaltungsbedarf	1357
12.4.2.5	Servicegerechte Produktentstehung und Fehlerabstellprozess	1359
12.4.2.6	Die regelmäßige Inspektion durch Sachverständige	1361
12.4.3	Fehlersuche im Kfz und Fahrzeugdiagnose	1364
12.4.3.1	Zielsetzung	1364
12.4.3.2	Wahrnehmung und Erfassung von Fehlerarten im Kfz	1364
12.4.3.3	Eigendiagnose in Fahrzeugen	1365
12.4.3.4	Anwendung Fahrzeugdiagnose im Handel	1366
12.4.3.5	Einsatz neuer Werkzeuge im Service	1371
12.4.4	Qualitätsmanagement im Rahmen der Instandhaltung und Instandsetzung	1373
	Literatur	1377
13	Ausblick	1383
	<i>Stefan Pischinger und Ulrich Seiffert</i>	
	Serviceteil	1387
	Stichwortverzeichnis	1388