

Hans-Hermann Braess (Hrsg.)
Ulrich Seiffert (Hrsg.)

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeug- technik

3. vollständig neu bearbeitete
und erweiterte Auflage

Mit 995 Abbildungen und 69 Tabellen



Inhaltsverzeichnis

1 Mobilität	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Ursachen und Arten der Mobilität	2
1.2.1 Definitionen	2
1.2.2 „Aktivitäten bestimmen Mobilität“	3
1.2.3 Transportsysteme für den Güterverkehr	5
1.2.4 Einige spezielle Ausprägungen von Mobilität	5
1.3 Spannungsfelder und Nachteile der Mobilität	5
1.4 Mobilitätsrelevante Anforderungen an Automobile	6
1.4.1 Grundsätzliche Anforderungen	6
1.4.2 Spezielle Anforderungen	8
2 Anforderungen, Zielkonflikte	9
2.1 Produktinnovation, bisherige Fortschritte	9
2.1.1 Kundenwünsche	9
2.1.2 Gesetzgebung	10
2.1.3 Fahrzeugtechnik	11
2.2 Anforderungen durch den Gesetzgeber	17
2.2.1 Zulassung zum Straßenverkehr	17
2.2.2 Die nationalen und supranationalen Rechtsquellen	17
2.2.2.1 Straßenverkehrsrecht mit Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)	17
2.2.2.2 Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft	19
2.2.2.3 Regelungen der UN-Wirtschaftskommission für Europa	21
2.2.2.4 Weitere Maßnahmen zum Abbau von Handelshemmnissen	21
2.2.3 Unfallvorbeugung (aktive Sicherheit)	21
2.2.3.1 Allgemeines	21
2.2.3.2 Bremsanlage	21
2.2.3.3 Sichtfeld	23
2.2.3.4 Schneeketten	23
2.2.3.5 Lichttechnische Einrichtungen	23
2.2.4 Fahrzeugsicherheit, Unfallfolgenmilderung	23
2.2.4.1 Allgemeines	23
2.2.4.2 Insassenschutz bei Frontalaufprall	24
2.2.4.3 Insassenschutz bei Seitenaufprall	24
2.2.5 Anforderungen an das Emissionsverhalten	24
2.2.5.1 Allgemeines	24
2.2.5.2 Geräuschpegel und Auspuffanlage	24
2.2.5.3 Abgase	25
2.2.5.3.1 Emissionen von Kraftfahrzeugmotoren	25
2.2.5.3.2 Emission aus Dieselmotoren (Rauchgastrübung)	28
2.2.5.4 Kraftstoffverbrauch und CO ₂ -Ausstoß	28
2.2.5.5 Elektromagnetische Verträglichkeit und Funkentstörung	28
2.2.6 Verschiedenes	28
2.2.6.1 Anbringung des hinteren Kennzeichens	28
2.2.6.2 Sicherungseinrichtungen gegen unbefugte Benutzung, Wegfahrsperre	28
2.2.6.3 Fabrikschild, Fahrzeugidentifizierungsnummer	28
2.2.6.4 Messung der Motorleistung	28
2.2.6.5 Massen und Abmessungen von Klasse M ₁ -Fahrzeugen	29
2.2.6.6 Altfahrzeuge	29
2.2.7 Ausblick	29
2.2.8 Normen	30
2.2.8.1 Einleitung	30
2.2.8.2 Normung auf dem Gebiet des Kraftfahrzeugwesens	31

2.2.8.3	Aufgabenstellung.....	31
2.3	Neue Technologien	33
2.4	Ergebnisse aus der Unfallforschung	37
2.4.1	Einleitung	37
2.4.2	Datenbasis.....	38
2.4.2.1	Amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik.....	38
2.4.2.2	Verkehrsunfalldaten der Versicherungen	39
2.4.2.3	„In-Depth“ Unfallerbhebungen	39
2.4.3	Anwendung.....	40
3	Fahrzeugphysik.....	43
3.1	Grundlagen.....	43
3.1.1	Definitionen	44
3.1.2	Fahrwiderstand und Antrieb	44
3.1.3	Kraftstoffverbrauch beeinflussende Maßnahmen.....	46
3.1.4	Dynamische Kräfte	47
3.1.5	Bewegung des Fahrzeugaufbaus	47
3.1.6	Kräfte und Momente.....	48
3.1.7	Radaufhängungen	48
3.1.8	Lenkung.....	48
3.1.9	Räder und Reifen.....	49
3.2	Aerodynamik	49
3.2.1	Grundlagen	49
3.2.2	Wirkungsbereiche.....	50
3.2.2.1	Luftwiderstand/Fahrleistung.....	50
3.2.2.2	Fahrsicherheit	53
3.2.2.3	Benetzung und Verschmutzung.....	53
3.2.2.4	Einzelkräfte.....	55
3.2.2.5	Kühlung/Bauteiltemperaturen	55
3.2.2.6	Innenraumklima.....	56
3.2.2.7	Windgeräusche	56
3.2.3	Einordnung in die Gesamtentwicklung	58
3.3	Wärmetechnik.....	58
3.3.1	Kühlung von Verbrennungsmotoren	58
3.3.1.1	Auslegung von Kühlern.....	59
3.3.1.2	Kühlerbauarten	60
3.3.1.3	Lüfter und Lüfterantriebe	61
3.3.1.4	Kühlmodule	62
3.3.1.5	Gesamtsystem Motorkühlung.....	62
3.3.2	Beheizen und Kühlen des Fahrgastraumes.....	63
3.3.2.1	Die Funktion Heizen und ihre Komponenten.....	64
3.3.2.2	Die Funktion der Kälteanlage und ihre Komponenten	66
3.3.2.3	Kompressoren und Regelung der Kälteleistung	67
3.3.2.4	Auslegung der Klimaanlage	68
3.3.2.5	Kraftstoffmehrverbrauch durch die Klimaanlage.....	69
3.3.2.6	Alternative Kältemittel	69
3.4	Fahrzeugakustik.....	71
3.4.1	Einleitung	71
3.4.2	Zieldefinition	71
3.4.3	Komponentenqualifikation	74
3.4.3.1	Antriebsaggregat.....	74
3.4.3.2	Antriebsstrang.....	77
3.4.3.3	Karosserie	79
3.4.3.4	Lenkungssystem	82
3.4.4	Optimierung Gesamtfahrzeug.....	83
3.4.4.1	Aeroakustik.....	84
3.4.4.2	Übertragungspfadanalyse	85
3.4.4.3	Schwingungskomfort.....	87

3.4.5	Außengeräusch	89
3.4.6	Qualitätssicherung	91
4	Formen und neue Konzepte	93
4.1	Design	93
4.1.1	Definition von Design	93
4.1.2	Wachsende Bedeutung von Design	93
4.1.2.1	Design und Plattform-/Gleichteile-Konzept	93
4.1.2.2	Design und Markenimage	94
4.1.2.3	Design als Marketinginstrument	95
4.1.2.4	Trendforschung	95
4.1.2.5	Zielkonflikte	95
4.1.3	Exterieur-/Interieur-Design, Colour & Trim, Advanced Design	96
4.1.4	Der Design-Prozess	97
4.1.4.1	Der klassische Design-Prozess	98
4.1.4.2	Der digitale Design-Prozess	100
4.1.4.3	Digital Process – Stärken und Schwächen	102
4.1.5	Ausblick	103
4.2	Fahrzeugkonzept und Package	103
4.2.1	Einführung und Definition	103
4.2.2	Gestaltung von Fahrzeugkonzepten	104
4.2.2.1	Außenabmessungen und Fahrzeugklassen	104
4.2.2.2	Aufbauausprägungen und Konzeptsegmente	106
4.2.2.3	Fahrzeuggrundformen	106
4.2.2.4	Sitzigkeit, Gepäckraum und Innenraumvariabilität	107
4.2.2.5	Wesentliche Innenraumabmessungen	107
4.2.2.6	Aggregate- und Antriebsstrangkonzpte	108
4.2.3	Einflussfaktoren und Gestaltungsfelder des Package	112
4.2.3.1	Gesetze und Vorschriften	112
4.2.3.2	Innenraummaßkonzeption	112
4.2.3.3	Konzeptbeeinflussende Maßketten	114
4.2.3.3.1	Die Fahrzeuglängen definierende Maßketten	114
4.2.3.3.2	Die Fahrzeughöhe definierende Maßketten	115
4.2.3.3.3	Die Fahrzeugbreite definierende Maßketten	115
4.2.3.4	Ausgewählte Aspekte des Packages	115
4.2.3.4.1	Karosseriestruktur	115
4.2.3.4.2	Motorraum	116
4.2.3.4.3	Unterboden	116
4.2.3.4.4	Tank, Leitungen und Reserverad	116
4.2.3.5	Anforderungen aus Produktion und Kundendienst	117
4.2.3.5.1	Produktion und Modularisierung	117
4.2.3.5.2	Kundendienst	117
4.2.3.6	Einfluss von Plattform und Baukästen	117
4.2.4	Beispiele ausgewählter Fahrzeugkonzepte in unterschiedlichen Klassen	117
4.2.4.1	Beispiele nach Fahrzeuggrößenklasse	117
4.2.4.2	Beispiele nach Fahrzeugausprägung	120
4.2.5	Konzeption und Packageprozess in der industriellen Praxis	121
4.2.6	Entwicklung der Fahrzeugkonzepte	122
4.3	Neuartige Antriebe	122
4.3.1	Elektroantriebe	122
4.3.1.1	Antriebssystem für Elektrofahrzeuge	123
4.3.1.2	Elektromotoren für Elektrofahrzeuge	123
4.3.1.3	Umrichter	125
4.3.1.4	Traktionsbatterien	127
4.3.1.5	Superkondensatoren	128
4.3.1.6	Ladegeräte	129
4.3.1.7	Ausblick	129
4.3.2	Brennstoffzellen als Antriebe für mobile Systeme	129

4.3.2.1	Brennstoffzelle mit Polymer-Elektrolytmembran	130
4.3.2.2	Peripherie bei Wasserstoff-Versorgung	131
4.3.2.3	Methanol als Kraftstoff für den Individualverkehr	133
4.3.2.4	Stand der Brennstoffzellen-Fahrzeugtechnik	134
4.3.2.4.1	Konzeptfahrzeuge	134
4.3.2.4.2	Kundenfahrzeuge	135
4.3.2.5	Ausblick	137
4.3.3	Hybridantrieb	138
4.3.3.1	Szenario	138
4.3.3.2	Konzepte	139
4.3.3.3	Antriebskomponenten aus Hybridsicht	141
4.3.3.4	Fahrzeugintegration	143
4.3.4	Stirlingmotor, Dampfmotor, Gasturbine und Schwungrad	143
4.3.4.1	Stirlingmotor	143
4.3.4.2	Dampfmotor	145
4.3.4.3	Gasturbine	146
4.3.4.4	Schwungrad	147
5	Antriebe	150
5.1	Ottomotor	150
5.1.1	Ottomotor (Grundlagen, Teil 1)	150
5.1.1.1	Arbeitsweise	150
5.1.1.1.1	Viertakt-Verfahren	151
5.1.1.1.2	Wirkungsgrade	151
5.1.1.1.3	Definitionen, Kenngrößen	153
5.1.1.2	Gestaltung und Mechanik	153
5.1.1.2.1	Bauformen	153
5.1.1.2.2	Kurbeltrieb	155
5.1.1.2.3	Ventiltrieb	158
5.1.1.2.4	Ladungswechselorgane	161
5.1.1.2.5	Werkstoffe	163
5.1.1.3	Motormanagement	167
5.1.1.3.1	Einspritzung	168
5.1.1.3.2	Gemischbildung	168
5.1.1.3.3	Zündung	169
5.1.1.3.4	Verbrennung	172
5.1.1.3.5	Abgasemissionen und Katalysator	174
5.1.1.3.6	Motorsteuerung	178
5.1.1.4	Kühlung und Schmierung	180
5.1.1.5	Nebenaggregate und Package	184
5.1.1.6	Rotationskolbenmotor	186
5.1.2	Ottomotor (Teil 2)	187
5.1.2.1	Direkteinspritzung	187
5.1.2.1.1	Brennverfahren	187
5.1.2.1.2	Ladungsbewegung	194
5.1.2.1.3	Einspritztechnik	195
5.1.2.1.4	Betriebsstrategie und Motormanagement	197
5.1.2.1.5	Abgasnachbehandlung	198
5.1.2.2	Variable Ventilsteuerung	200
5.1.2.2.1	Drosselfreie Laststeuerung	200
5.1.2.2.2	Konstruktive Lösungen	202
5.1.2.3	Downsizing und Aufladung	205
5.1.2.3.1	Betriebspunktverlagerung	206
5.1.2.3.2	Variable Verdichtung	207
5.2	Dieselmotor	209
5.2.1	Definitionen	209
5.2.2	Ausführungsformen	209
5.2.3	Historie einer Erfindung	209

5.2.4	Motortechnische Grundlagen	212
5.2.4.1	Einleitung	212
5.2.4.2	Vergleich motorischer Verbrennungsverfahren	212
5.2.4.3	Die Thermodynamik des Dieselmotors	213
5.2.5	Die dieselmotorische Verbrennung	215
5.2.5.1	Allgemeines	215
5.2.5.2	Einspritzung und Gemischbildung	216
5.2.5.3	Selbstzündung und Zündverzug	216
5.2.5.4	Abgasemissionen	219
5.2.6	Konstruktive Merkmale der Einspritzsysteme	221
5.2.6.1	Verteilereinspritzpumpe	222
5.2.6.2	Reihenpumpe	224
5.2.6.3	Einspritzdüsen und Düsenhalter	224
5.2.6.4	Pumpe-Düse	227
5.2.6.5	Speichereinspritzsystem	228
5.2.6.6	Simulation von Einspritzsystemen	230
5.2.7	Konstruktive Merkmale der Verbrennungsverfahren	230
5.2.7.1	Vorkammerv Verfahren	230
5.2.7.2	Wirbelkammerv Verfahren	231
5.2.7.3	Direkte Einspritzung	231
5.2.7.4	Triebwerk und Zylinderkopf	232
5.2.7.5	Aufladung	233
5.2.7.6	Lebensdauer	234
5.2.8	Qualitative Bewertung von Verbrennungsverfahren	234
5.2.9	Abgasnachbehandlung	235
5.2.9.1	Oxidationskatalysator	235
5.2.9.2	Dieselpartikel	235
5.2.9.3	Entstickung	238
5.2.10	Simulation der dieselmotorischen Verbrennung	240
5.2.11	Dieselmotorkraftstoffe	241
5.2.12	Die Zukunft des Dieselmotors	244
5.3	Aufladung	249
5.3.1	Gründe und Ziele	249
5.3.2	Systeme	250
5.3.2.1	Abgasturbo-Aufladung	250
5.3.2.2	Druckwellenaufladung	250
5.3.2.3	Mechanische Aufladung	251
5.3.3	Komponenten	253
5.3.3.1	Abgasturbolader	254
5.3.3.2	Druckwellenlader	254
5.3.3.3	Kompressor	254
5.3.3.3.1	Roots-Kompressor	254
5.3.3.3.2	Spiral-Kompressor	255
5.3.4	Probleme der Anwendung	256
5.4	Triebstrang	258
5.4.1	Überblick	258
5.4.1.1	Einleitung	258
5.4.1.2	Aufgaben des Getriebes	258
5.4.1.3	Aufbau und Elemente des Triebstrangs	260
5.4.1.4	Achsantrieb	260
5.4.1.5	Differenzialgetriebe	260
5.4.1.6	Allrad-Verteilergetriebe	261
5.4.1.7	Gelenkwellen	261
5.4.1.8	Schwingungssystem	261
5.4.2	Anfahrelemente	261
5.4.2.1	Kupplungen	261
5.4.2.2	Hydrodynamische Drehmomentwandler	266
5.4.3	Das Handschaltgetriebe-System	268

5.4.3.1	Funktion und Aufbau.....	268
5.4.3.2	Verzahnung.....	269
5.4.3.3	Synchronisierung.....	269
5.4.3.4	Weitere Getriebekomponenten.....	270
5.4.3.5	Getriebschaltung.....	271
5.4.3.6	Ausführungsbeispiele.....	271
5.4.3.7	Automatisierte Schaltgetriebe.....	271
5.4.4	Stufenautomatgetriebe.....	272
5.4.4.1	Funktionsweise.....	272
5.4.4.2	Aufbau.....	273
5.4.4.3	Baugruppen.....	275
5.4.4.4	Betätigung.....	278
5.4.4.5	Betriebsverhalten.....	279
5.4.4.6	Ausführungsbeispiele.....	280
5.4.5	Stufenlose Getriebe.....	282
5.4.5.1	Funktionsweise.....	282
5.4.5.2	Aufbau.....	283
5.4.5.3	Baugruppen.....	284
5.4.5.4	Betätigung.....	285
5.4.5.5	Betriebsverhalten.....	285
5.4.5.6	Ausführungsbeispiele.....	286
5.4.6	Elektronische Getriebesteuerung.....	287
5.4.6.1	Gesamtsystem.....	287
5.4.6.2	Steuergerät.....	287
5.4.6.3	Bauteile.....	289
5.4.6.4	Funktionen.....	290
5.4.7	Ausblick.....	292
5.5	Allradantriebe, Brems- und Antriebsregelungen.....	294
5.5.1	Allradantriebs-Konzepte.....	294
5.5.1.1	Verwendung von Allradantrieben.....	294
5.5.1.2	Kennlinien von Allradantrieben.....	294
5.5.1.3	Systematik der Antriebe.....	295
5.5.1.4	Systemkomponenten.....	296
5.5.1.5	Getriebeabtriebe.....	301
5.5.1.6	Systemauswahl.....	302
5.5.1.7	Einfluss auf Crashverhalten.....	302
5.5.1.8	Geräusch- und Schwingungstechnik Noise-Vibration-Harshness (NVH).....	303
5.5.1.9	Dimensionierung.....	304
5.5.1.10	Bremsverhalten von allradgetriebenen Fahrzeugen, Allradantrieb und Regelsysteme.....	304
5.5.2	Antriebs- und Bremsregelung.....	305
5.5.2.1	Unfallvorbeugende Sicherheit.....	305
5.5.2.2	Traktionssysteme.....	305
5.5.2.3	Stabilitätssysteme.....	306
5.5.2.3.1	Passive Systeme, ASC, ASR.....	306
5.5.2.3.2	Aktive Systeme, DSC, ESP.....	307
5.5.2.3.3	Elektronisches Bremsen Management EBM.....	309
5.5.2.3.4	EBM für Allradfahrzeuge.....	309
5.5.2.3.5	Weiterentwicklung.....	309
5.5.2.4	DSC, ESP mit Fremdkraftbremsen.....	310
5.5.2.4.1	Brake-by-Wire.....	310
5.5.2.5	Sensorik.....	312
5.5.2.5.1	Raddrehzahlfühler.....	312
5.5.2.5.2	Fahrdynamiksensoren.....	312
5.6	Optimierung der Nebenaggregate.....	313
5.6.1	Wachsender Energieverbrauch im Kfz durch eine steigende Anzahl von elektrischen Verbrauchern.....	313
5.6.2	Strategien zur Verbrauchsminimierung.....	313

5.6.2.1	Verbesserung der Energieerzeugung „on board“	313
5.6.2.1.1	Verbesserung des Generators	313
5.6.2.1.2	Die „Smart-power-Switch“	314
5.6.2.1.3	ISAD-System	314
5.6.2.1.4	Adaptronik	314
5.6.2.1.5	Erhöhte Bordnetzspannung	314
5.6.2.1.6	5 kW-Brennstoffzelle	315
5.6.2.2	Verbesserung des Wirkungsgrades und des Verbrauchs der Nebenaggregate ...	316
5.6.2.2.1	Elektrische Servolenkung	316
5.6.2.2.2	Bedarfsgerechte Kraftstoffpumpe	316
5.6.2.2.3	Elektrohydraulisches/ elektro-mechanisches Bremssystem	316
5.6.2.3	Energiemanagementsysteme	316
5.6.3	Hybridfahrzeuge	318
5.7	Chancen und Risiken des Zweitaktmotors	318
5.7.1	Das Zweitaktverfahren	318
5.7.2	Das verwendete Konzept	319
5.7.3	Die Entwicklungsschwerpunkte	320
5.7.3.1	Abgasverhalten	320
5.7.3.2	Geräuschverhalten	320
5.7.3.3	Kraftstoffverbrauch	321
5.7.3.4	Mechanische Standfestigkeit	322
5.7.3.5	Package/Gewicht	323
5.7.3.6	Kosten	323
5.7.4	Zusammenfassung und Bewertung	324
5.8	Alternative Kraftstoffe im Vergleich	325
5.8.1	Systematik der Möglichkeiten für die Versorgung mobiler Verbraucher mit Antriebsenergie	325
5.8.2	Kriterien für die Auswahl von Energieträgern für den Straßenverkehr	325
5.8.3	Konventionelle Kraftstoffe und Möglichkeiten zu ihrer Weiterentwicklung	327
5.8.4	Wesentliche Gründe für alternative Energieträger im Fahrzeug	328
5.8.5	Biogene Kraftstoffe	329
5.8.6	Methanol	329
5.8.7	Erdgas	330
5.8.8	Wasserstoff	330
5.8.9	Einordnung in die Weltenergieversorgung	331
6	Aufbau	333
6.1	Karosseriebauweisen	333
6.1.1	Selbsttragende Karosserie	333
6.1.1.1	Entwicklungsanforderungen	333
6.1.1.2	Außenhaut	333
6.1.1.2.1	Design	333
6.1.1.2.2	Aerodynamik und Aeroakustik	334
6.1.1.3	Package	335
6.1.1.4	Karosseriestruktur	336
6.1.1.4.1	Unterboden	336
6.1.1.4.2	Aufbau	338
6.1.1.4.3	Zusammenbau Seitenwand	339
6.1.1.4.4	Dach	339
6.1.1.4.5	Anbauteile	340
6.1.1.4.6	Verbindungstechnik	340
6.1.1.4.7	Materialauswahl und Leichtbau	341
6.1.1.4.8	Sicken und Verprägungen	342
6.1.1.5	Karosserieeigenschaften	342
6.1.1.5.1	Zusammenbautoleranzen	342
6.1.1.5.2	Karosseriesteifigkeiten	343
6.1.1.5.3	Aufprallverhalten	344
6.1.1.6	Ausblick	344

6.1.2	Space-Frame/Bepunktungen.....	345
6.1.2.1	Einleitung.....	345
6.1.2.2	AUDI-Space-Frame.....	346
6.1.2.3	Das Karosseriekonzept des ASF®.....	346
6.1.2.4	Die Weiterentwicklung des ASF®.....	348
6.1.2.5	Werkstoffe und Fertigungstechnologien.....	349
6.1.2.5.1	Blechteile und Legierungen.....	349
6.1.2.5.2	Strangpreßprofilteile und Legierungen.....	350
6.1.2.5.3	Gussteile und Legierungen.....	350
6.1.2.6	Fügechnik.....	351
6.1.2.6.1	MIG-Schweißen.....	351
6.1.2.6.2	Stanznieten mit Halbhohlniet.....	351
6.1.2.6.3	Laserstrahl-Schweißen.....	352
6.1.2.6.4	Laserstrahl-MIG-Hybriderschweißen.....	353
6.1.2.6.5	Rollfalten + Kleben.....	353
6.1.2.7	Reparaturkonzept.....	353
6.1.2.8	Energiebilanz.....	354
6.1.3	Karosserie Stahlbleichbau-Studien.....	356
6.1.3.1	Einleitung.....	356
6.1.3.2	Zielsetzung.....	356
6.1.3.3	Umsetzung.....	357
6.1.3.3.1	Werkstoffbleichbau.....	357
6.1.3.4	Fertigungsbleichbau.....	358
6.1.3.4.1	Innenhochdruckumformung (IHU).....	358
6.1.3.4.2	Laserschweißen.....	359
6.1.3.4.3	Tailored blanks/Tailored tubes.....	359
6.1.3.4.4	Formbleichbau.....	360
6.1.3.5	Wirtschaftlichkeit.....	360
6.1.3.6	Ergebnis.....	361
6.1.4	Cabriolet.....	362
6.1.4.1	Einführung.....	362
6.1.4.2	Robbau.....	362
6.1.4.2.1	Karosseriebleichkeit.....	363
6.1.4.2.2	Karosseriebleichger.....	364
6.1.4.2.3	Betriebsteile Auslegung von Cabrioletkarosserien.....	365
6.1.4.3	Sicherheitsteile Auslegung von Cabriolets.....	365
6.1.4.4	Türen.....	366
6.1.4.5	Dachsystem.....	366
6.1.4.5.1	Faltbares Festdach (Retractable Hardtop).....	366
6.1.4.5.2	Stoffverdeck (Softtop).....	367
6.1.4.5.3	Dichtungen.....	368
6.1.5	Mischbauweise.....	368
6.2	Materialien der Karosserie.....	378
6.2.1	Metalle im Karosseriebau.....	380
6.2.2	Nichtmetalle im Karosseriebau.....	388
6.2.3	Multifunktionale Materialien im Karosseriebau – smart materials – der Zukunft.....	394
6.3	Oberflächenenschutz.....	395
6.3.1	Nutzen des Oberflächenenschutzes.....	395
6.3.1.1	Korrosionsschutz.....	395
6.3.1.2	Oberflächenenschutz.....	396
6.3.1.3	Transporterschutz.....	396
6.3.2	Entwicklung und Produktion des Oberflächenenschutzes.....	396
6.3.2.1	Blechvorbeschichtung.....	397
6.3.2.2	Maßnahmen in der Karosseriekonstruktion.....	397
6.3.2.3	Maßnahmen in der Produktion.....	399
6.3.2.3.1	Kleben und Dichten.....	399
6.3.2.3.2	Vorbehandlung.....	399
6.3.2.3.3	Elektrotauchlackierung.....	400

	6.3.2.3.4	Grund- und Decklackierung	401
	6.3.2.4	Hohlraumkonservierung und Unterbodenschutz	402
	6.3.2.4.1	Hohlraumkonservierung	402
	6.3.2.4.2	Unterbodenschutz	402
	6.3.2.5	Transportschutz	402
6.3.3	Ausblick		403
6.4	Fahrzeuginnenraum		404
6.4.1	Ergonomie und Komfort		404
	6.4.1.1	Ergonomische Anforderungen an das „Gesamtfahrzeug“	404
	6.4.1.2	Ergonomische Grundausslegungen	407
	6.4.1.3	Entwicklungsmethoden, Einbindung der Ergonomie in dem Entstehungsprozess	411
	6.4.1.4	Neue Entwicklungen zur Mensch-Maschine-Interaktion	413
6.4.2	Kommunikationssysteme und Navigation		417
	6.4.2.1	Ziele und Lösungen	417
	6.4.2.2	Autoradio	417
	6.4.2.2.1	RDS (Radio Data System)	418
	6.4.2.2.2	TMC	418
	6.4.2.2.3	DARC	419
	6.4.2.3	DAB	419
	6.4.2.4	Autotelefon	419
	6.4.2.4.1	UMTS	420
	6.4.2.4.2	Einbau von Handys ins Fahrzeug	420
	6.4.2.4.3	Festeinbautelefone	421
	6.4.2.4.4	Radiophone	421
	6.4.2.5	Bakenkommunikation	421
	6.4.2.6	Navigation	421
	6.4.2.7	Verkehrstelematik	422
	6.4.2.8	Fahrerinformationssysteme	423
6.4.3	Innenraumbehaglichkeit/Thermischer Komfort		424
	6.4.3.1	Komfortbedürfnisse des Autofahrers	424
	6.4.3.2	Funktionen und Aufbau des Klimagerätes	425
	6.4.3.2.1	Funktionen des Klimagerätes – Luft fördern	426
	6.4.3.2.2	Funktionen des Klimagerätes – Luft temperieren und entfeuchten	427
	6.4.3.2.3	Funktionen des Klimagerätes – Luft verteilen	427
	6.4.3.2.4	Funktionen des Klimagerätes – Luft reinigen	429
	6.4.3.2.5	Bauformen des Klimagerätes	430
	6.4.3.2.6	Auslegung des Klimagerätes	430
	6.4.3.3	Regelung von Klimaanlage	431
	6.4.3.3.1	Automatisierungsgrade	431
	6.4.3.3.2	Bedienung von Klimaanlage, Ergonomie	432
	6.4.3.3.3	Stellantriebe und Sensoren	432
6.4.4	Fahrzeuginnenausstattung		433
	6.4.4.1	Einleitung und Rückblick	433
	6.4.4.2	Wichtige Anforderungen an die Komponenten des Innenraums	434
	6.4.4.2.1	Ergonomie	434
	6.4.4.2.2	Passive Sicherheit	434
	6.4.4.2.3	Auslegung der Karosserie	434
	6.4.4.2.4	Auslegung des frontalen Rückhaltesystems	434
	6.4.4.2.5	Weitere Sicherheitsmaßnahmen im Innenraum	435
	6.4.4.2.6	Optischer Komfort	435
	6.4.4.2.7	Thermischer Komfort	435
	6.4.4.2.8	Akustischer Komfort	436
	6.4.4.3	Komponenten der Innenausstattung	436
	6.4.4.3.1	Instrumententafeln (Cockpit)	436
	6.4.4.3.2	Türverkleidungen & Seitenverkleidungen	437
	6.4.4.3.3	Sitze	438
	6.4.4.3.4	Dachverkleidungen/Säulenverkleidungen	439

	6.4.4.3.5	Teppiche/Dämmung/Dämpfung	439
	6.4.4.3.6	Weitere Auskleidungen	440
6.4.4.4		Orientierungspunkte für die Umsetzung	440
	6.4.4.4.1	Lastenheft	440
	6.4.4.4.2	Gesamtaufbau	440
	6.4.4.4.3	Design	440
	6.4.4.4.4	Auslegung	441
	6.4.4.4.5	Materialien und Produktionsprozesse	441
6.4.4.5		Entwicklungsablauf	441
	6.4.4.5.1	Design/Mockup/Berechnung	441
	6.4.4.5.2	Teilekonstruktion	441
	6.4.4.5.3	Datenkontrollmodelle	442
	6.4.4.5.4	Prototypen	442
	6.4.4.5.5	Pilotfertigung	442
6.4.4.6		Ausblick	443
	6.4.4.6.1	Funktion und Wohlbefinden	443
	6.4.4.6.2	Geräuschkomfort	443
	6.4.4.6.3	Passive Sicherheit	443
	6.4.4.7	Zusammenfassung	444
6.5		Fahrzeugsicherheit	444
6.5.1		Allgemeines	444
6.5.2		Gebiete der Fahrzeugsicherheit	447
6.5.3		Daten der Unfallstatistik	448
6.5.4		Biomechanik und Schutzkriterien	449
	6.5.4.1	Biomechanik	449
	6.5.4.1.1	Grundlagen	449
	6.5.4.1.2	Belastungsgrenzen	450
	6.5.4.2	Schutzkriterien	451
	6.5.4.3	Simulationseinrichtungen	452
	6.5.4.3.1	Kopf	452
	6.5.4.3.2	Rumpf	452
	6.5.4.3.3	Gesamtkörper	452
6.5.5		Quasistatische Anforderungen an die Karosserie	453
	6.5.5.1	Sitz- und Sicherheitsgurtverankerungspunkt-Tests	453
	6.5.5.2	Dachfestigkeit	454
	6.5.5.3	Seitenstruktur	454
6.5.6		Dynamische Fahrzeugkollision	454
	6.5.6.1	Frontale Kollision	454
	6.5.6.2	Seitliche Kollision	456
	6.5.6.3	Heckkollision und Fahrzeugüberschlag	457
	6.5.6.4	Karosserie	457
6.5.7		Insassenschutz	458
	6.5.7.1	Fahrzeuginnenraum	458
	6.5.7.2	Rückhaltesysteme	458
	6.5.7.2.1	Sicherheitsgurte	458
	6.5.7.2.2	Kinderrückhaltesysteme	459
	6.5.7.2.3	Airbag-Systeme	460
	6.5.7.2.4	Sitze, Sitzlehne und Kopfstütze	461
6.5.8		Zusammenwirken von Rückhaltesystemen und Fahrzeug	462
	6.5.8.1	Unangegurteter Insasse	462
	6.5.8.2	Dreipunktgurt	463
	6.5.8.3	Airbag-Systeme	463
	6.5.8.4	Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit der Rückhaltesysteme	465
6.5.9		Seitenkollisionen	465
	6.5.9.1	Theoretische Betrachtung	465
	6.5.9.2	In den USA und Europa definierte Seitenaufpralltests	466
6.5.10		Kompatibilität	466
	6.5.10.1	Allgemeine Aussage	466

6.5.10.2	Pkw/Lkw-Kollision	468
6.5.10.3	Fußgängerkollision	468
6.5.11	Rechnerunterstützung bei der Entwicklung von Sicherheitskomponenten	469
6.5.11.1	Grundlagen	469
6.5.11.2	Beschreibung der numerischen Werkzeuge	470
6.5.11.3	Komponentenberechnung	470
6.5.11.4	Gesamtfahrzeugauslegung	471
6.5.11.5	Gesamtmodell	471
6.5.11.5.1	Fahrzeugmodell	471
6.5.11.5.2	Insassensimulation	472
6.5.12	Zusammenfassung	473
7	Fahrwerk	475
7.1	Allgemeines	475
7.1.1	Definition des Begriffs Fahrwerk	475
7.1.2	Aufgaben des Fahrwerks	475
7.1.3	Fahrdynamik und Fahrwerkskräfte	476
7.1.3.1	Querdynamik: Fahrwerkskräfte in Querrichtung	476
7.1.3.1.1	Lenken der Räder	477
7.1.3.1.2	Querverschiebung des Radaufstandspunktes	478
7.1.3.1.3	Stabilisieren des Fahrzeugs auf einer vorgegebenen Bahn	478
7.1.3.2	Längsdynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeuglängsrichtung	478
7.1.3.3	Vertikaldynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeughochrichtung	480
7.1.4	Basis-Zielkonflikte	480
7.1.5	Ausblick	481
7.2	Bremsen	482
7.2.1	Einführung	482
7.2.2	Grundlagen von Bremssystemen	482
7.2.2.1	Physikalische Grundlagen	482
7.2.2.2	Arten von Bremsanlagen	483
7.2.2.3	Gesetzliche Vorschriften (s.a. Kap. 2.2)	483
7.2.2.4	Bremskreisaufteilungen	484
7.2.2.5	Bremsvorgang	484
7.2.2.6	Bremsenauslegung	485
7.2.2.6.1	Bremskraftverteilung (BKV)	485
7.2.2.6.2	BKV-Diagramm	486
7.2.2.6.3	Dimensionierung	486
7.2.2.6.4	Thermische Auslegung	486
7.2.2.6.5	Pedalcharakteristik (Ergonomie)	487
7.2.3	Radbremse	487
7.2.3.1	Trommelbremsen	488
7.2.3.1.1	Feststellbremse	488
7.2.3.1.2	Simplex Trommelbremse	488
7.2.3.1.3	Duplex Trommelbremse	488
7.2.3.1.4	Duo-Servo-Trommelbremsen	488
7.2.3.1.5	Bremstrommeln	489
7.2.3.1.6	Berechnung von Trommelbremsen	489
7.2.3.2	Scheibenbremsen	490
7.2.3.2.1	Scheibenbremsenbauformen	490
7.2.3.2.2	Bremsscheiben	490
7.2.3.2.3	Festsattel	492
7.2.3.2.4	Rahmensattel	493
7.2.3.2.5	Faustsattel	493
7.2.3.2.6	Optimierte Faustsattelkonstruktionen	493
7.2.3.2.7	Berechnung der Scheibenbremsen	495
7.2.3.3	Sattel-Werkstoffe	496
7.2.3.4	Bremsbeläge	496
7.2.4	Betätigung	496

7.2.4.1	Tandem-Hauptzylinder.....	496
7.2.4.1.1	Schnüffelloch-Tandem-Hauptzylinder.....	496
7.2.4.1.2	Zentralventil-Tandem-Hauptzylinder.....	497
7.2.4.1.3	Plunger-Tandem-Hauptzylinder.....	497
7.2.4.2	Ausgleichbehälter.....	498
7.2.4.3	Bremskraftverstärker.....	498
7.2.4.3.1	Vakuum-Bremskraftverstärker.....	498
7.2.4.3.2	Weitere Bauformen von Vakuum-Bremskraftverstärkern.....	499
7.2.4.3.3	Vakuumpumpe.....	500
7.2.4.3.4	Funktionserweiterte Vakuum-Bremskraftverstärker.....	500
7.2.4.3.5	Hydraulik-Bremskraftverstärker.....	501
7.2.4.4	Bremskraftverteiler.....	501
7.2.4.4.1	Bremsdruckbegrenzer.....	502
7.2.4.4.2	Druckabhängige Druckminderer (festeingestellt).....	502
7.2.4.4.3	Lastabhängige Druckminderer.....	502
7.2.4.5	Übertragungseinrichtungen (Hydraulische Verbindungen).....	502
7.2.4.6	Bremsflüssigkeit.....	502
7.2.5	Elektronische Regelsysteme.....	503
7.2.5.1	Allgemeines.....	503
7.2.5.2	Physikalische Grundlagen.....	503
7.2.5.2.1	Dynamik des gebremsten oder angetriebenen Rades.....	503
7.2.5.2.2	Kraftschluss in Längsrichtung.....	503
7.2.5.2.3	Kraftschluss in Querrichtung.....	504
7.2.5.2.4	Kombination des Kraftschlusses in Längs- und Querrichtung.....	504
7.2.5.3	Sensoren für elektronische (Brems-)Regelsysteme.....	505
7.2.5.3.1	Raddrehzahlsensoren.....	505
7.2.5.3.2	Wegsensor in der Betätigung.....	507
7.2.5.3.3	Beschleunigungsschalter/Beschleunigungssensor.....	507
7.2.5.3.4	Lenkradwinkelsensor.....	507
7.2.5.3.5	Querbeschleunigungssensor.....	508
7.2.5.3.6	Gierratensensor.....	508
7.2.5.3.7	Drucksensor.....	508
7.2.5.4	Hydraulisch/elektronische Regeleinheit für elektronische (Brems-)Regelsysteme.....	508
7.2.5.5	Elektronische Regeleinheit für elektronische (Brems-)Regelsysteme.....	509
7.2.5.6	Bremsen mit ABS.....	509
7.2.5.6.1	ABS-Funktionalität.....	509
7.2.5.6.2	Arbeitsbereich des ABS.....	510
7.2.5.7	Elektronische Bremskraftverteilung (EBV).....	512
7.2.5.8	Erweitertes Stabilitäts-Bremssystem.....	512
7.2.5.9	Antriebsschlupfregelung (ASR).....	512
7.2.5.9.1	ASR-Funktionalität.....	512
7.2.5.9.2	Bremsenregelung der ASR (BASR).....	513
7.2.5.9.3	Motorregelung der ASR (MASR).....	513
7.2.5.9.4	Motor-Schleppmomenten-Regelung (MSR).....	513
7.2.5.10	Elektronisches Stabilitäts Programm (ESP/DSC3).....	513
7.2.6	Assistenzsysteme.....	514
7.2.6.1	Bremsassistent (BA).....	514
7.2.6.1.1	Elektronischer Bremsassistent.....	514
7.2.6.1.2	Mechanischer Bremsassistent.....	515
7.2.6.1.3	Hydraulischer Bremsassistent.....	515
7.2.7	Entwicklung neuer Bremssysteme.....	515
7.2.7.1	Elektrische Parkbremse (EPB) und aktive Parkbremse (APB).....	515
7.2.7.2	Elektrohydraulische Bremse (EHB).....	517
7.2.7.3	Elektromechanische Bremse (EMB).....	517
7.2.8	Übergreifende Verbundsysteme.....	519
7.2.8.1	Verkürzter Anhalteweg.....	519
7.2.8.2	Active Rollover Protection (ARP).....	520

7.3	Reifen.....	520
7.3.1	Einführung.....	520
7.3.2	Reifenaufbau.....	521
7.3.3	Anforderungen an Reifen.....	521
7.3.3.1	Gebrauchseigenschaften.....	523
7.3.3.2	Gesetzliche Anforderungen.....	526
7.3.3.3	Reifen und Räder, Normung.....	526
7.3.4	Kraftübertragung Reifen Fahrbahn.....	526
7.3.4.1	Tragverhalten.....	526
7.3.4.2	Kraftschlussverhalten, Aufbau von Horizontalkräften.....	526
7.3.4.3	Antreiben und Bremsen; Umfangskräfte.....	528
7.3.4.4	Schräglauf; Kräfte und Momente.....	529
7.3.4.5	Reifen unter Quer- und Längsschlupf.....	530
7.3.4.6	Reifengleichförmigkeit.....	531
7.3.5	Reifen als integraler Baustein des Gesamtsystems Fahrzeug.....	532
7.3.5.1	Reifenmechanik, Materialeigenschaften.....	532
7.3.5.2	Reifenmodelle.....	534
7.3.5.3	Gesamtmodelle.....	535
7.3.5.4	Beschreibung des Fahrverhaltens.....	535
7.3.5.5	Synergien zwischen Reifen und anderen Systemkomponenten.....	535
7.3.6	Zukünftige Reifentechnologien.....	535
7.3.6.1	Reifensysteme mit Notlaufeigenschaften.....	535
7.3.6.2	Reifenbezogene Zusatzprodukte.....	536
7.3.6.3	Reifendruckkontrolle.....	536
7.3.6.4	Auf Reifen abgestimmte Komponenten im Fahrwerk.....	536
7.3.6.5	Materialentwicklung.....	537
7.3.6.6	Reifen mit erweiterten Funktionen.....	537
7.4	Fahrwerksauslegung.....	538
7.4.1	Kinematik der Radaufhängung.....	538
7.4.1.1	Radhubkinematik.....	538
7.4.1.2	Lenkkinematik.....	540
7.4.2	Elastokinematik.....	541
7.4.2.1	Wirkung von Bauteilelastizitäten.....	541
7.4.2.2	Elastomerlager.....	542
7.4.2.3	Wirkung äußerer Kräfte.....	548
7.4.3	Radaufhängungen.....	551
7.4.3.1	Starrachsen.....	553
7.4.3.2	Einzelradaufhängungen.....	553
7.4.3.3	Verbundachsen.....	556
7.4.4	Federung, Dämpfung, Stabilisatoren.....	557
7.4.4.1	Tragfeder.....	557
7.4.4.2	Stabilisierung.....	560
7.4.4.3	Schwingungsdämpfung.....	561
7.4.4.4	Vertikaldynamiksysteme.....	563
7.4.4.5	Ausblick.....	568
7.4.5	Lenkung.....	570
7.4.5.1	Lenkungs kinematik.....	570
7.4.5.2	Lenkgetriebe und -gestänge.....	579
7.4.5.3	Lenkunterstützung.....	581
7.4.6	Aktive Lenksysteme.....	586
7.4.6.1	Einleitung.....	586
7.4.6.2	Aktive Vorderradlenkungen.....	586
7.4.6.2.1	Aktive Servolenkungen.....	586
7.4.6.2.2	Lenkungen mit aktiv veränderlicher Übersetzung.....	587
7.4.6.2.3	Überlagerungslenkungen.....	587
7.4.6.2.4	Integration von Überlagerungslenkung und geregelter Servolenkung.....	589
7.4.6.2.5	„Steer by wire“-Lenksysteme.....	590

7.4.6.3	Aktive Hinterradlenkungen	592
7.4.6.3.1	Hinterradlenkungen ohne fahrdynamische Regelung.....	592
7.4.6.3.2	Hinterradlenkungen mit fahrdynamischer Regelung.....	593
7.5	Beurteilungskriterien.....	595
7.5.1	Subjektive Fahreigenschaftsbeurteilung.....	595
7.5.2	Objektive Fahreigenschaftsbeurteilung	596
7.5.2.1	Geradeausfahrt.....	597
7.5.2.2	Kurvenverhalten	599
7.5.2.3	Übergangsverhalten	600
7.5.2.4	Ausblick.....	601
7.6	Kraftstoffsystem.....	602
7.6.1	Gesetzliche und kundenspezifische Vorschriften.....	602
7.6.1.1	Gesetzliche Vorschriften	602
7.6.1.2	Kundenspezifische Anforderungen	604
7.6.2	Anordnung im Fahrzeug.....	604
7.6.3	Systemvarianten	605
7.6.3.1	Externes Ausgleichvolumen (z.B. BMW 3er).....	605
7.6.3.2	Internes Ausgleichvolumen (z.B. Audi A4)	605
7.6.3.3	Auslegungskriterien.....	606
7.6.4	Kraftstoff-Behälter.....	606
7.6.4.1	Metall-Kraftstoff-Behälter.....	606
7.6.4.2	Kunststoff-Kraftstoff-Behälter	607
7.6.5	Fördersysteme.....	608
7.6.5.1	Förderung des Kraftstoffs.....	608
7.6.5.2	Elektro-Kraftstoff-Pumpe (EKP) und deren Anordnung.....	608
7.6.5.3	Pumpenanordnungen	608
7.6.5.4	Anforderungen zur elektrischen/elektronischen Systemeinbindung.....	609
7.6.5.5	Saugstrahlpumpe	609
7.6.5.6	Schwalltopf.....	609
7.6.6	Filtrierung des Kraftstoffs	609
7.6.7	Volumen-Messeinrichtung	610
7.6.7.1	Hebelgeber.....	610
7.6.7.2	Tauchrohrgeber.....	610
7.6.8	Aktivkohlefilter (AKF).....	611
7.6.9	Sonderlösungen, Zusatz-Kraftstoff-Behälter.....	611
7.6.10	Ausblick.....	611
7.6.11	Kraftstoffversorgungsanlagen für alternative Energien	611
7.6.11.1	Alternative Kraftstoffe.....	611
7.6.11.2	Kundenanforderungen und gesetzliche Vorschriften	612
7.6.11.3	Anordnung im Fahrzeug	612
7.6.11.4	Kraftstoffbehälter für Druckgas.....	614
7.6.11.5	Kraftstoffsysteme für Druckgas.....	614
7.6.11.6	Kraftstoffbehälter für kryogene Gase	614
7.6.11.7	Kraftstoffsysteme für kryogene Gase	615
7.6.11.8	Entwicklungstendenzen.....	616
	Elektrik/Elektronik.....	617
8.1	Beleuchtung	617
8.1.1	Zulassung.....	617
8.1.2	Lichttechnische Begriffe.....	617
8.1.3	Scheinwerfer	617
8.1.3.1	Historische Entwicklung.....	617
8.1.3.2	Scheinwerferarten	618
8.1.3.3	Reflektortechnologie	618
8.1.3.4	Abschlusscheibe.....	620
8.1.3.5	Scheinwerfer-Einstellung	621
8.1.3.6	Scheinwerfer-Lichtquellen	622
8.1.3.7	Xenonlicht	623

8.1.4	BiXenon.....	625
8.1.5	Lichtbewertung.....	625
8.1.6	Tagfahrlicht und Positionslicht.....	626
8.1.7	Zusatzscheinwerfer.....	626
8.1.8	Signalleuchten	626
8.1.8.1	Lichtquellen für Signalleuchten.....	627
8.1.9	Beleuchtungsstyling	628
8.1.10	Zukunftsentwicklungen	628
8.2	Sensorik/Aktuatorik/Systemtechnik	630
8.2.1	Übersicht.....	630
8.2.2	Systemansatz	631
8.2.3	Sensorik	632
8.2.3.1	Übersicht.....	632
8.2.3.2	Drehraten-Sensor	633
8.2.3.3	Radarbasierte Sensorik	634
8.2.3.4	Videobasierte Sensorik.....	635
8.2.4	Steuergerät und Informationsverarbeitung	636
8.2.4.1	Übersicht.....	636
8.2.4.2	Ausblick.....	637
8.2.5	Aktuatorik.....	637
8.2.5.1	Übersicht.....	637
8.2.5.2	Elektromotor/Kollektormotor.....	638
8.2.5.3	Elektromotor/Asynchronmotor für Starter-Generator.....	639
8.2.5.4	Spule-Anker basierte Aktuatoren	640
8.2.5.5	Elektrostatisch arbeitendes Piezo-Einspritz-Ventil	641
8.2.5.6	Elektrothermischer Effekt.....	641
8.3	Bordnetz/CAN.....	642
8.3.1	Einleitung	642
8.3.1.1	Heutige Bordnetzstrukturen.....	642
8.3.1.2	Entwicklungstendenzen zukünftiger Bordnetze	642
8.3.2	Klauenpolgenerator	642
8.3.2.1	Aufbau und Wirkungsweise	642
8.3.2.2	Leistungs- und Wirkungsgradverhalten.....	643
8.3.2.3	Spannungsregelung.....	644
8.3.3	Batterien	645
8.3.3.1	Batteriekenngrößen.....	645
8.3.3.2	Betriebsverhalten von Bleibatterien	645
8.3.3.3	Zweibatterienbordnetz.....	646
8.3.4	Zukünftige Bordnetzarchitekturen.....	646
8.3.4.1	Zweispannungsbordnetz 42 V/12 V	646
8.3.4.2	Signal- und Leistungsverteilung.....	648
8.3.4.3	Energiemanagement	649
8.3.5	CAN (Controller Area Network).....	649
8.3.5.1	Motivation	649
8.3.5.2	Einsatzgebiete	650
8.3.5.3	Buskonfiguration	650
8.3.5.4	Busvergabe und Adressierung	650
8.3.5.5	Botschaftsformat.....	651
8.3.5.6	Störungserkennung und -behandlung	652
8.3.5.7	Implementierung.....	652
8.3.5.8	Standardisierung	653
8.3.5.9	Zusammenfassung	653
8.4	Multimedia Systeme im Kfz.....	654
8.4.1	Analoge Rundfunksysteme.....	654
8.4.1.1	Störeinflüsse des mobilen Rundfunkempfangs	654
8.4.1.2	Rundfunk Zusatzdienste	655
8.4.1.3	Autoradiogeräte für den Empfang analoger Rundfunkdienste	655
8.4.2	Digitale Rundfunksysteme	656

8.4.2.1	Digital Audio Broadcasting	656
8.4.2.2	Digital Radio Mondiale	657
8.4.2.3	Autoradiogeräte für den Empfang digitaler Rundfunkdienste	657
8.4.3	Multimedia Vernetzung	658
8.4.3.1	Evolution der Multimedia-Vernetzung im Kfz	658
8.5	Fahrerassistenzsysteme	659
8.5.1	Allgemeines	659
8.5.2	Adaptive Cruise Control ACC	661
8.6	Elektromagnetische Verträglichkeit – EMV	665
8.6.1	Eigenentstörung	666
8.6.2	Störfestigkeit gegen externe elektromagnetische Felder	666
8.6.3	Fernentstörung	667
8.6.4	Normen und Richtlinien	667
8.6.5	Sicherstellung der EMV	667
8.7	Software	668
8.7.1	Vorbemerkungen zum Thema Software	668
8.7.2	Softwareentwicklungsprozess	668
8.7.2.1	Anforderungsanalyse und -spezifikation	668
8.7.2.2	Design und Architektur	669
8.7.2.3	Implementierung	669
8.7.2.4	Integration	669
8.7.2.5	Validierung und Verifikation	669
8.7.2.6	Produktion und Wartung	669
8.7.3	Erfolgsfaktoren	669
8.7.3.1	Modellbildung	669
8.7.3.2	MMI	669
8.7.3.3	Qualitätssicherung	670
8.7.4	Entkopplung von Infrastruktur und Plattformen	670
8.7.5	Produktlinien	670
8.7.6	Anwendungsfelder	671
8.7.6.1	Fahrerassistenzsysteme	671
8.7.6.2	Infotainment	671
8.7.6.3	Karosserie- und Komfortfunktionen	672
8.7.6.4	Crash-Funktionen	672
8.7.7	Technische Herausforderungen zur Software im Fahrzeug	672
8.7.7.1	Zuverlässigkeit	672
8.7.7.2	Logistik	672
8.7.7.3	Vernetzung	673
8.7.7.4	IT-Security	673
8.7.8	Potenzial	673
8.7.9	Organisatorische Herausforderungen	673
8.7.9.1	Prozesse	673
8.7.9.2	Impact und langfristige Perspektiven	674
9	Werkstoffe und Fertigungsverfahren	675
9.1	Ein Blick zurück	675
9.2	Werkstoffe moderner Kraftfahrzeuge	677
9.2.1	Materialanteile im Automobilbau	677
9.2.2	Anforderungen und Zielkonflikte	679
9.2.3	Fortschritte in den Leistungsmerkmalen	679
9.2.3.1	Festigkeit und Verarbeitung	679
9.2.3.1.1	Stahlwerkstoffe	679
9.2.3.1.2	Leichtmetalle	683
9.2.3.1.3	Edelmetalle	689
9.2.3.1.4	Kunststoffe	689
9.2.3.1.5	Verglasung	693
9.2.3.2	Verschleißschutz	694
9.2.3.3	Korrosionsschutz	695

9.2.4	Fortschritte in der Fügetechnik	697
9.2.4.1	Schweißen und Lötten	697
9.2.4.2	Mechanische Fügeverfahren	698
9.2.4.3	Kleben	700
9.2.5	Fortschritte in der Um- und Urformung	701
9.2.5.1	Metalle	701
9.2.5.2	Polymere	706
9.2.6	Fortschritte in der Umweltverträglichkeit	710
9.2.7	Nanotechnologie (im Automobil)	715
9.3	Wie geht es weiter?	718
9.4	Wälzlager im Fahrzeugbau	719
9.4.1	Einleitung	719
9.4.2	Konstruktions- und Berechnungsgrundlagen für die Gestaltung von KfZ-Wälzlagerungen	720
9.4.2.1	Berechnungsgrundlagen – und Methoden	720
9.4.2.2	Berechnung der Lastverteilung in den Radlagern einer PKW-Hinterachse unter Berücksichtigung der Umgebungskonstruktion, Rad/Felge/Bremse/Achszapfen/Radlager	721
9.4.2.3	Verifizierung der Konstruktions- und Berechnungsmethoden durch Prüfmethoden	723
9.4.3	Funktion von Schmierung und Schmierstoffen für die Wälzlager im Kraftfahrzeug	723
9.4.4	Zusammenfassung, Entwicklungspotenziale	724
10	Produktentstehungsprozess	725
10.1	Simultaneous Engineering und Projektmanagement im Produktentstehungsprozess	725
10.1.1	Einleitung	725
10.1.2	Der simultane Entwicklungsprozess – Simultaneous Engineering	725
10.1.3	Vorentwicklung	726
10.1.3.1	Erstellung eines Lastenheftes und Programmplanung	726
10.1.3.2	Prozessablaufplanung	728
10.1.3.3	Simultane Planung der internen und externen Entwicklung und Fertigung	732
10.1.3.4	Analytische Konstruktion und analytischer Fertigungsprozess	733
10.1.4	Serienentwicklung	734
10.1.4.1	Management des simultanen Entwicklungs- und Fertigungsprozesses	735
10.1.4.2	Reduzierter Testaufwand durch weniger Prototypstestphasen	736
10.1.5	Ausblick	736
10.2	Fahrzeugkonzeption in der frühen Entwicklungsphase	738
10.2.1	Definition	738
10.2.1.1	Die frühe Phase und deren Relevanz	738
10.2.1.2	Fahrzeugkonzeptinhalte der frühen Phase	738
10.2.2	Vorgehensweise	739
10.2.2.1	Prozess	739
10.2.2.2	Tools	739
10.2.3	Beispiele	739
10.2.3.1	Parametrische geometrische Fahrzeugmodelle	739
10.2.3.2	Fahrdynamik	740
10.2.3.3	Passive Sicherheit – Betriebsfestigkeit	740
10.2.3.4	Aerodynamik	740
10.2.3.5	Fahrleistung und Verbrauch	740
10.2.4	Ausblick	740
10.3	Berechnung und Simulation	741
10.3.1	Einleitung	741
10.3.2	Organisatorische Gesichtspunkte	741
10.3.3	Methoden und Verfahren	742
10.3.3.1	Strukturberechnung	743
10.3.3.2	Elektromagnetische Anwendungen	748
10.3.3.3	Strömungsberechnung	748
10.3.3.4	Simulationstechniken zur Funktionsabsicherung im Labor	751

10.4	Mess- und Versuchstechnik	752
10.4.1	Kurzer Rückblick.....	752
10.4.2	Grundsätzliches zur Mess- und Versuchstechnik im Automobilbau.....	752
10.4.3	Einige ausgewählte Beispiele	758
10.4.4	Zur Effizienz der Mess- und Versuchstechnik	759
10.5	Qualitätsmanagement.....	762
10.6	Betrieb und Instandhaltung von Kraftfahrzeugen.....	764
10.6.1	Einführung.....	764
10.6.1.1	Entwicklungstendenzen	765
10.6.1.2	Auswirkungen für die Kfz-Entwicklung	765
10.6.2	Instandhaltbarkeit und Zuverlässigkeit.....	765
10.6.3	Instandhaltbarkeit und Wirtschaftlichkeit	768
10.6.3.1	Lebenslaufkosten	768
10.6.3.2	Kaufen und Verkaufen.....	769
10.6.3.3	Kraftstoffkosten	769
10.6.3.4	Kosten bei Nutzungsausfall	769
10.6.3.5	Werkstattpreise	769
10.6.3.6	Instandhaltungszeit, Haupt- und Teilarbeit, Planzeiten	769
10.6.3.7	Ersatzteil, Zerlegungstiefe, Transport-, Lagerfähigkeit und Lieferzeitraum.....	771
10.6.3.8	Werkstattausrüstung, Werkzeuge, Sonderwerkzeuge	771
10.6.4	Beeinflussung im Produktentstehungsprozess.....	771
10.6.4.1	Ziele zur Instandhaltbarkeit	771
10.6.4.2	Nachweis der Instandhaltbarkeit	774
10.6.4.3	Berichtswesen	774
10.6.4.4	Datensysteme.....	775
10.6.4.5	Virtuelle Beurteilung der Servicefreundlichkeit.....	775
10.6.5	Strategie und Konzept	776
10.6.5.1	Instandhaltungsstrategien	776
10.6.5.2	Instandhaltungskonzept	776
10.6.5.3	Anforderungen zur Instandhaltbarkeit.....	776
10.6.5.4	Einfluss der EU.....	776
10.6.6	Organisation	777
10.6.6.1	Service-Prozess.....	777
10.6.6.2	Kunden- und Lieferantenbeziehungen.....	778
10.6.6.3	Rolle des Managements	778
1	Rennsportwagen.....	780
11.1	Monoposti (Formel-Rennwagen).....	780
11.1.1	Die heutige Rennwagentechnik am Beispiel der Formel 1	780
11.1.1.1	Konstruktionsvorgaben durch die FIA	780
11.1.1.2	Monocoque (Sicherheitszelle)	781
11.1.1.3	Motor und Getriebe als tragende Strukturteile	781
11.1.1.4	Fahrwerk	782
11.1.1.5	Aerodynamik	783
11.2	Rennsportwagen mit geschlossener Karosserie	784
11.2.1	Seriennahe Rennsportwagen (FIA der Kategorie I, Beispiel Gruppe N)	785
11.2.1.1	Motor und Getriebe	785
11.2.1.2	Fahrwerk	785
11.2.1.3	Karosserie	785
11.2.1.4	Sicherheitsanforderungen	785
11.2.1.5	Gewicht des Gesamtfahrzeugs.....	786
11.2.2	Serienverwandte Rennsportwagen	786
11.2.2.1	Motor und Getriebe	786
11.2.2.2	Fahrwerk	787
11.2.2.3	Karosserie	787
11.2.2.4	Sicherheitsanforderungen	787
11.2.2.5	Gewicht.....	787
11.2.3	Sportprototypen	787



11.2.3.1	Motor und Getriebe	788
11.2.3.2	Fahrwerk.....	788
11.2.3.3	Karosserie	788
11.2.3.4	Sicherheitsanforderungen	789
11.2.3.5	Gewicht.....	789
11.2.4	Einfluss der verschiedenen Fahrzeugparameter auf die Rundenzeit	789
12	Automobil und Verkehr – Wie kann es weitergehen?	791
12.1	Auto und Verkehr im Spannungsfeld von Wunsch, Wissenschaft und Wirklichkeit.....	791
12.2	Zur Gestaltung des Gesamtsystems Verkehr	791
12.3	Verkehrstechnologie-Management	796
12.4	Verkehrsorganisations-Management	797
13	Ausblick – Wo geht es hin?	800