

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	4
1.2.4	Einige spezielle Ausprägungen von Mobilität	4
1.3	Spannungsfelder und Auswirkungen der Mobilität	4
1.4	Mobilitätsrelevante Anforderungen an Automobile	5
1.4.1	Grundsätzliche Anforderungen	5
1.4.2	Einige spezielle Anforderungen	6
2	Anforderungen, Zielkonflikte	7
2.1	Produktinnovation, bisherige Fortschritte	7
2.1.1	Kundenwünsche	7
2.1.2	Gesetzgebung	8
2.1.3	Fahrzeugtechnik	9
2.2	Anforderungen durch den Gesetzgeber	15
2.2.1	Zulassung zum Straßenverkehr	15
2.2.2	Die nationalen und supranationalen Rechtsquellen	15
2.2.2.1	Straßenverkehrsrecht mit StVZO	15
2.2.2.2	Rechtsakte der Europäischen Union	17
2.2.2.3	Regelungen der UN-Wirtschaftskommission für Europa	18
2.2.2.4	Weitere Maßnahmen zum Abbau von Handelshemmnissen	18
2.2.3	Unfallvorbeugung (aktive Sicherheit)	19
2.2.3.1	Allgemeines	19
2.2.3.2	Bremsanlage	19
2.2.3.3	Sichtfeld	20
2.2.3.4	Lichttechnische Einrichtungen	20
2.2.4	Unfallfolgenmilderung (passive Sicherheit)	20
2.2.4.1	Allgemeines	20
2.2.4.2	Insassenschutz bei Frontalaufprall	20
2.2.4.3	Insassenschutz bei Seitenaufprall	21
2.2.4.4	Fußgängerschutz	21
2.2.5	Anforderungen an das Emissionsverhalten	21
2.2.5.1	Allgemeines	21
2.2.5.2	Geräuschpegel und Auspuffanlage	22
2.2.5.3	Abgase	22
2.2.5.3.1	Emissionen von Kraftfahrzeugen	22
2.2.5.4	Elektromagnetische Verträglichkeit und Funkstörung	24
2.2.6	Verschiedenes	25
2.2.6.1	Anbringung des hinteren Kennzeichens	25
2.2.6.2	Sicherungseinrichtungen gegen unbefugte Benutzung, Wegfahrsperr, Diebstahlschutz	25
2.2.6.3	Fabrikschild, Fahrzeugidentifizierungsnummer	25
2.2.6.4	Messung der Motorleistung	25
2.2.6.5	Massen und Abmessungen von Klasse M ₁ -Fahrzeugen	25
2.2.6.6	Altfahrzeuge, Recycling	25
2.2.7	Ausblick	26
2.2.8	Normen	26
2.2.8.1	Einleitung	26
2.2.8.2	Nationale und internationale Struktur	26
2.2.8.3	Grundregeln der Normungsarbeit und Anwendung von Normen	26

	2.2.8.4	Erarbeitung einer Norm.....	27
	2.2.8.5	Facharbeit in Normenausschüssen.....	27
	2.2.8.6	Normung in der Automobiltechnik.....	28
	2.2.8.7	Aufgaben des NA Automobil.....	28
	2.2.8.8	Normungsfelder.....	29
	2.2.8.9	Nutzen der Normung.....	29
2.3		Neue Technologien.....	30
3		Fahrzeugphysik.....	33
3.1		Grundlagen.....	33
	3.1.1	Definitionen.....	34
	3.1.2	Fahrwiderstand und Antrieb.....	34
	3.1.3	Kraftstoffverbrauch beeinflussende Maßnahmen.....	36
	3.1.4	Dynamische Kräfte.....	37
	3.1.5	Weitere Definitionen.....	37
3.2		Aerodynamik.....	37
	3.2.1	Grundlagen.....	37
	3.2.2	Wirkungsbereiche.....	39
	3.2.2.1	Luftwiderstand/Fahrleistung.....	39
	3.2.2.2	Fahrsicherheit.....	41
	3.2.2.3	Benetzung und Verschmutzung.....	42
	3.2.2.4	Einzelkräfte.....	43
	3.2.2.5	Kühlung/Bauteiltemperaturen.....	44
	3.2.2.6	Innenraumklima.....	44
	3.2.2.7	Windgeräusche.....	45
	3.2.3	Einordnung in die Gesamtentwicklung.....	46
3.3		Wärmetechnik.....	46
	3.3.1	Kühlung von Verbrennungsmotoren.....	46
	3.3.1.1	Auslegung von Kühlern.....	48
	3.3.1.2	Kühlerbauarten.....	49
	3.3.1.3	Lüfter und Lüfterantriebe.....	50
	3.3.1.4	Kühlmodule.....	50
	3.3.1.5	Gesamtsystem Motorkühlung.....	50
	3.3.2	Beheizen und Kühlen des Fahrgastraumes.....	51
	3.3.2.1	Die Funktion Heizen und ihre Komponenten.....	52
	3.3.2.2	Die Funktion der Kälteanlage und ihre Komponenten.....	53
	3.3.2.3	Verdichter und Regelung der Kälteleistung.....	55
	3.3.2.4	Auslegung der Klimaanlage.....	55
	3.3.2.5	Kraftstoffmeherverbrauch durch die Klimaanlage.....	56
	3.3.3	Komponenten und Systeme zur Heizung und Kühlung von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen.....	57
	3.3.3.1	Einführung.....	57
	3.3.3.2	Microhybride.....	57
	3.3.3.3	Milde Hybride und Batteriekühlung.....	58
	3.3.3.4	Vollhybride.....	59
	3.3.3.5	Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge.....	60
3.4		Akustik und Schwingungen.....	62
	3.4.1	Einleitung.....	62
	3.4.2	Fahrgeräusche.....	63
	3.4.3	Antriebsgeräusch.....	64
	3.4.3.1	Luftschall.....	65
	3.4.3.2	Körperschall.....	67
	3.4.4	Rollgeräusch.....	69
	3.4.5	Windgeräusch.....	70
	3.4.6	Mechatronische Geräusche.....	72
	3.4.6.1	Stellmotoren.....	73
	3.4.6.2	Fahrzeugklimatisierung.....	73
	3.4.6.3	Lüfter und Gebläse.....	74

3.4.6.4	Lenkungssystem	74
3.4.6.5	Fahrwerksregelung	74
3.4.6.6	Biegeschlaffe Leitungen	75
3.4.7	Klappern, Knarzen, Quietschen	75
3.4.8	Außengeräusch	76
3.4.8.1	Standgeräusch	76
3.4.8.2	Fahrgeräusche	76
3.4.8.3	Vorbeifahrt nach ISO 362	76
3.4.8.4	Reifen/Fahrbahngeräusch	78
3.4.9	Schwingungskomfort	79
3.4.9.1	Motorerregte Schwingungen	79
3.4.9.2	Fahrbahnerregte Schwingungen	80
3.4.9.3	Raderregte Schwingungen	81
3.4.10	Akustik und Schwingungen beim Elektrischen Fahren	81
3.4.11	Prozess Akustikentwicklung	82
4	Formen und neue Konzepte	84
4.1	Design	84
4.1.1	Die Bedeutung von Design	84
4.1.2	Designziele	84
4.1.3	Der Designprozess	84
4.1.4	Der kreative Prozess	85
4.1.5	Der virtuelle Designprozess	87
4.1.6	Modellphase	87
4.1.7	Color, Trim und Individualisierung	88
4.1.8	Designaktivitäten in der Produktionsvorbereitung	88
4.1.9	Entscheidungen	89
4.1.10	Designstudien und Advanced Design	89
4.1.11	Sinnliche Wahrnehmung im Design	89
4.2	Fahrzeugkonzept und Package	92
4.2.1	Einführung und Definition	92
4.2.2	Gestaltung von Fahrzeugkonzepten	93
4.2.2.1	Außenabmessungen und Fahrzeugklassen	94
4.2.2.2	Aufbauausprägungen und Konzeptsegmente	94
4.2.2.3	Fahrzeuggrundformen	95
4.2.2.4	Sitzigkeit, Gepäckraum und Innenraumvariabilität	96
4.2.2.5	Wesentliche Innenraumabmessungen	96
4.2.2.6	Aggregate- und Antriebsstrangkonzeppte	97
4.2.2.7	Hybridkonzepte	100
4.2.2.8	Fahrzeuggewicht	101
4.2.3	Einflussfaktoren und Gestaltungsfelder des <i>Package</i>	101
4.2.3.1	Gesetze und Vorschriften	101
4.2.3.2	Innenraummaßkonzeption	101
4.2.3.3	Konzeptbeeinflussende Maßketten	102
4.2.3.3.1	Die Fahrzeuglänge definierende Maßketten	103
4.2.3.3.2	Die Fahrzeughöhe definierende Maßketten	104
4.2.3.3.3	Die Fahrzeugbreite definierende Maßketten	104
4.2.3.4	Ausgewählte Aspekte des <i>Package</i>	105
4.2.3.4.1	Karosseriestruktur	105
4.2.3.4.2	Motorraum	105
4.2.3.4.3	Unterboden	105
4.2.3.4.4	Tank, Leitungen und Reserverad	106
4.2.3.5	Anforderungen aus Produktion und Kundendienst	106
4.2.3.5.1	Produktion und Modularisierung	106
4.2.3.5.2	Kundendienst	106
4.2.3.6	Einfluss von Plattform und Baukästen	106
4.2.4	Beispiele ausgewählter Fahrzeugkonzepte in unterschiedlichen Klassen	107
4.2.4.1	Beispiele nach Fahrzeuggrößenklasse	107

	4.2.4.2	Beispiele nach Fahrzeugausprägung	109
	4.2.5	Konzeption und Packageprozess in der industriellen Praxis	110
	4.2.6	Entwicklung der Fahrzeugkonzepte	110
4.3		Neuartige Antriebe.....	111
	4.3.1	Elektroantriebe	111
	4.3.1.1	Antriebssystem für Elektrofahrzeuge	112
	4.3.1.2	Elektromotoren für Elektrofahrzeuge	113
	4.3.1.3	Umrichter.....	115
	4.3.1.4	Traktionsbatterien	116
	4.3.1.5	Superkondensatoren.....	118
	4.3.1.6	Ladegeräte	118
	4.3.1.7	Ausblick.....	118
	4.3.2	Brennstoffzellenantriebssysteme	119
	4.3.2.1	Antriebsarchitektur mit PEM-Brennstoffzellen.....	120
	4.3.2.1.1	Brennstoffzellen-Stack	121
	4.3.2.1.2	Stack-Peripherie	124
	4.3.2.1.3	Mobile Wasserstoffspeicher	125
	4.3.2.1.4	Hybridisierter Brennstoffzellenantrieb.....	125
	4.3.2.2	Sicherheit	126
	4.3.2.3	Rechtsvorschriften und Standards	127
	4.3.2.4	Brennstoffzellen-Fahrzeuge.....	127
	4.3.2.4.1	Brennstoffzellen – Pkw und – Transporter	128
	4.3.2.4.2	Brennstoffzellen-Busse	129
	4.3.2.4.3	Demonstrationen und Flottenversuche.....	130
	4.3.2.5	Kraftstoffversorgung und Infrastruktur	131
	4.3.2.6	Ausblick.....	131
	4.3.3	Hybridantrieb.....	133
	4.3.3.1	Szenario	133
	4.3.3.2	Konzepte und Betriebsstrategien	133
	4.3.3.3	Plug-In Hybride	140
	4.3.3.4	Hybrid Sportwagen.....	142
	4.3.3.5	Antriebskomponenten aus Hybridsicht	143
	4.3.3.6	Fahrzeugintegration	145
	4.3.4	Stirlingmotor, Dampfmotor, Gasturbine und Schwungrad	146
	4.3.4.1	Stirlingmotor.....	146
	4.3.4.2	Dampfmotor.....	148
	4.3.4.3	Gasturbine.....	149
	4.3.4.4	Schwungrad	150
	4.3.5	Der Wasserstoff-Verbrennungsmotor.....	153
	4.3.5.1	Konstruktive Merkmale.....	153
	4.3.5.2	H ₂ -Brennverfahren mit äußerer Gemischbildung	154
	4.3.5.3	H ₂ -Brennverfahren mit innerer Gemischbildung.....	155
	4.3.5.4	Wirkungsgradpotenziale.....	155
	4.3.5.5	H ₂ -Ottomotor als Fahrzeugantrieb.....	156
5		Antriebe	158
	5.1	Grundlagen der Motorentechnik.....	158
	5.1.1	Prozess des Verbrennungsmotors	158
	5.1.1.1	Viertakt-Verfahren.....	158
	5.1.1.2	Zweitakt-Verfahren	159
	5.1.2	Definitionen und Kenngrößen	159
	5.1.2.1	Leistungskenngrößen.....	159
	5.1.2.2	Spezifische Motorkenngrößen.....	160
	5.1.2.3	Wirkungsgrade.....	160
	5.1.3	Bauarten.....	162
	5.1.3.1	Hubkolbenmotoren	162
	5.1.3.1.1	Bauformen.....	162

	5.1.3.1.2	Kinematik des Kurbeltriebs.....	164
	5.1.3.1.3	Kräfte und Momente im Triebwerk	164
	5.1.3.2	Rotationskolbenmotoren.....	168
5.1.4		Konstruktion und Motormechanik.....	169
	5.1.4.1	Kurbelgehäuse	169
	5.1.4.2	Kurbelwelle	170
	5.1.4.3	Pleuel	171
	5.1.4.4	Kolben	171
	5.1.4.5	Zylinderkopf.....	171
	5.1.4.6	Ventiltrieb und Steuertrieb	172
	5.1.4.6.1	Hauptbauteile des Ventiltriebs	172
	5.1.4.6.2	Bauformen des Ventiltriebs.....	173
	5.1.4.6.3	Variable Ventilsteuerung.....	176
	5.1.4.7	Motorkühlung	179
	5.1.4.8	Motorschmierung.....	181
	5.1.4.9	Saugrohr.....	183
	5.1.4.10	Nebenaggregate und Package.....	183
5.1.5		Ottomotoren.....	186
	5.1.5.1	Ladungswechsel.....	187
	5.1.5.1.1	Ansaugsystem.....	187
	5.1.5.1.2	Abgassystem.....	188
	5.1.5.1.3	Ventilsteuerzeiten	189
	5.1.5.1.4	Variable Ventilsteuerung.....	189
	5.1.5.2	Gemischbildung.....	191
	5.1.5.2.1	Homogene Gemischbildung	192
	5.1.5.2.2	Benzin-Direkteinspritzung	193
	5.1.5.2.3	Abgasrückführung.....	199
	5.1.5.2.4	Ladungsbewegung.....	200
	5.1.5.3	Zündung.....	201
	5.1.5.4	Downsizing und Aufladung.....	204
	5.1.5.4.1	Betriebspunktverlagerung	205
	5.1.5.4.2	Variable Verdichtung	206
	5.1.5.5	Verbrennung	207
	5.1.5.6	Abgasreinigung.....	209
	5.1.5.6.1	Drei-Wege-Katalysator	209
	5.1.5.6.2	DeNO _x -Katalysator.....	212
	5.1.5.7	Motormanagement.....	215
	5.1.5.7.1	Motorsteuerung	215
	5.1.5.7.2	Betriebsstrategie und Motormanagement bei Benzin-Direkteinspritzung	217
5.2		Dieselmotor.....	219
	5.2.1	Definitionen.....	219
	5.2.2	Historie des Dieselmotors.....	220
	5.2.3	Motortechnische Grundlagen	221
	5.2.3.1	Einleitung	221
	5.2.3.2	Vergleich motorischer Verbrennungsverfahren	222
	5.2.3.3	Die Thermodynamik des Dieselmotors	223
	5.2.4	Die dieselmotorische Verbrennung	224
	5.2.4.1	Allgemeines	224
	5.2.4.2	Einspritzung und Gemischbildung	224
	5.2.4.3	Selbstzündung und Zündverzug	226
	5.2.4.4	Verbrennung und Brennverlauf.....	227
	5.2.4.5	Abgasemissionen.....	227
	5.2.5	Die dieselmotorischen Verbrennungsverfahren	230
	5.2.5.1	Ausführungsformen.....	231
	5.2.5.2	Vorkammerverfahren.....	231
	5.2.5.3	Wirbelkammerverfahren.....	231
	5.2.5.4	Direkte Einspritzung.....	232

	5.2.5.5	Qualitative Bewertung von Verbrennungsverfahren.....	233
	5.2.5.6	Simulation der dieselmotorischen Verbrennung	234
5.2.6		Konstruktive und funktionale Merkmale des Dieselmotors.....	235
	5.2.6.1	Zylinderkopf und Zylinderkurbelgehäuse	235
	5.2.6.2	Einspritzsysteme.....	236
	5.2.6.3	Aufladung.....	242
	5.2.6.4	Abgasrückführung	243
	5.2.6.5	Luftmanagement.....	244
	5.2.6.6	Brennverfahren	244
	5.2.6.7	Downsizing und Downspeeding.....	244
5.2.7		Abgasnachbehandlung.....	245
	5.2.7.1	Oxidationskatalysator	245
	5.2.7.2	Dieselpartikelfilter	246
	5.2.7.3	Entstickung	249
5.2.8		Dieselmotorkraftstoffe	252
5.2.9		Regelung.....	255
5.2.10		Die Zukunft des Dieselmotors.....	256
5.3		Aufladung	264
	5.3.1	Hintergrund.....	264
	5.3.2	Aufladeprinzip	265
	5.3.3	Konstruktiver Aufbau	268
	5.3.4	Kopplung von Motor und Verdichter	269
	5.3.5	Regelung.....	270
	5.3.6	Motorkomponenten im unmittelbaren Zusammenhang zur Aufladung	272
	5.3.7	Sonstige Regelungssysteme.....	273
	5.3.8	Downsizing und Aufladung: Potenziale, Grenzen, Auswirkungen.....	274
	5.3.9	Methoden in der Entwicklung	275
	5.3.10	Ausblick.....	276
5.4		Triebstrang	277
	5.4.1	Überblick.....	277
	5.4.1.1	Einleitung	277
	5.4.1.2	Aufgaben des Getriebes.....	277
	5.4.1.3	Aufbau und Elemente des Triebstrangs.....	279
	5.4.1.4	Achsantrieb.....	279
	5.4.1.5	Differenzialgetriebe.....	279
	5.4.1.6	Allrad-Verteilergetriebe.....	280
	5.4.1.7	Gelenkwellen.....	280
	5.4.1.8	Schwingungssystem.....	280
5.4.2		Anfahrelemente	281
	5.4.2.1	Kupplungen	281
	5.4.2.2	Hydrodynamische Drehmomentwandler	284
5.4.3		Das Handschaltgetriebe-System.....	287
	5.4.3.1	Funktion und Aufbau.....	287
	5.4.3.2	Verzahnung.....	287
	5.4.3.3	Synchronisierung	288
	5.4.3.4	Weitere Getriebekomponenten	289
	5.4.3.5	Getriebebeschaltung	289
	5.4.3.6	Ausführungsbeispiele	289
	5.4.3.7	Automatisierte Schaltgetriebe.....	290
5.4.4		Stufenautomatgetriebe	291
	5.4.4.1	Funktionsweise	291
	5.4.4.2	Aufbau	292
	5.4.4.3	Baugruppen.....	292
	5.4.4.4	Betätigung.....	296
	5.4.4.5	Betriebsverhalten.....	296
	5.4.4.6	Ausführungsbeispiele	298
5.4.5		Stufenlose Getriebe.....	299
	5.4.5.1	Funktionsweise	299

5.4.5.2	Aufbau	300
5.4.5.3	Baugruppen.....	301
5.4.5.4	Betätigung.....	302
5.4.5.5	Betriebsverhalten	302
5.4.5.6	Ausführungsbeispiele	303
5.4.6	Doppelkupplungsgetriebe.....	304
5.4.6.1	Funktionen und Bauteile.....	305
5.4.6.2	Radsatzsynthese.....	306
5.4.7	Hybridantriebe	307
5.4.7.1	Hybridsysteme	307
5.4.7.2	Mikrohybrid.....	308
5.4.7.3	Mildhybrid und Vollhybrid	308
5.4.7.4	Verbrauchseinsparung	308
5.4.8	Elektronische Getriebesteuerung.....	309
5.4.8.1	Gesamtsystem.....	310
5.4.8.2	Steuergerät	311
5.4.8.3	Bauteile	312
5.4.8.4	Funktionen	313
5.4.9	Ausblick.....	315
5.5	Allradantriebe, Brems- und Antriebsregelungen	316
5.5.1	Allradantriebs-Konzepte.....	316
5.5.1.1	Verwendung von Allradantrieben	316
5.5.1.2	Kennlinien von Allradantrieben	317
5.5.1.3	Systematik der Antriebe	317
5.5.1.4	Systemkomponenten.....	318
5.5.1.5	Getriebeabtriebe.....	327
5.5.1.6	Systemauswahl	329
5.5.1.7	Einfluss auf Crashverhalten.....	329
5.5.1.8	Geräusch- und Schwingungstechnik Noise-Vibration-Harshness (NVH).....	329
5.5.1.9	Dimensionierung	330
5.5.1.10	Allradantrieb und Regelsysteme.....	330
5.5.2	Antriebs- und Bremsregelung.....	330
5.5.2.1	Unfallvorbeugende Sicherheit.....	330
5.5.2.2	Traktionssysteme	331
5.5.2.3	Stabilitätssysteme	331
5.5.2.3.1	Passive Systeme ASC, ASR.....	331
5.5.2.3.2	Aktive Systeme, DSC, ESP.....	332
5.5.2.3.3	Elektronisches Bremsen Management EBM.....	333
5.5.2.3.4	EBMx für Allradfahrzeuge.....	334
5.5.2.3.5	Weiterentwicklung	335
5.5.2.4	DSC, ESP mit Fremdkraft-Bremsanlage	336
5.5.2.5	Bremssysteme für Fahrzeuge mit Hybridantrieb.....	336
5.5.2.6	Sensorik	336
5.5.2.6.1	Raddrehzahlfühler	337
5.5.2.6.2	Fahrdynamiksensorik	337
5.6	Abgasanlagen.....	338
5.6.1	Aufgaben der Abgasanlage.....	338
5.6.2	Katalysatoren.....	339
5.6.3	Partikelfilter	340
5.6.4	Canning und Monolith-Lagerung	341
5.6.5	Schalldämpfer.....	343
5.6.6	Akustische Abstimmung.....	343
5.6.7	Körperschall	344
5.7	Bordenergie-Management.....	345
5.7.1	Ausgangssituation.....	345
5.7.2	Der Klauenpolgenerator im Energiebordnetz.....	346
5.7.2.1	Leistungs- und Wirkungsgradverhalten.....	346

5.7.2.2	Überspannungsschutz	347
5.7.2.3	Generator mit Schnittstellenregler	347
5.7.3	Elektrische Speicher im Energiebordnetz	348
5.7.3.1	Blei-Säure Batterien	348
5.7.3.2	Traktionsspeicher	349
5.7.4	Energiebordnetze für konventionelle Fahrzeuge	350
5.7.4.1	Energiebordnetze für Start/Stopp Fahrzeuge	350
5.7.4.2	Zwei-Batterie-Bordnetze	351
5.7.4.3	Elektrisches Energiemanagement EEM in konventionellen Fahrzeugen	351
5.7.4.3.1	Ruhestrommanagement	352
5.7.4.3.2	Fahrbetrieb/Dynamisches Energiemanagement	353
5.7.4.3.3	Diagnose und Anzeige	353
5.7.4.3.4	Zusatzfunktionen	353
5.7.4.3.5	Batteriezustandserkennung/Batteriemanagement	354
5.7.4.3.6	Batteriesensor EBS	354
5.7.5	Energiebordnetze für Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang	355
5.8	Chancen und Risiken des Zweitaktmotors	356
5.8.1	Das Zweitaktverfahren	356
5.8.2	Das verwendete Konzept	356
5.8.3	Die Entwicklungsschwerpunkte	357
5.8.3.1	Abgasverhalten	357
5.8.3.2	Geräuschverhalten	358
5.8.3.3	Kraftstoffverbrauch	358
5.8.3.4	Mechanische Standfestigkeit	359
5.8.3.5	Package/Gewicht	359
5.8.3.6	Kosten	360
5.8.4	Zusammenfassung und Bewertung	361
5.9	Konventionelle und alternative Kraftstoffe und Energieträger	361
5.9.1	Marktwirtschaftliche Aspekte	364
5.9.2	Energieversorgungssicherheit	365
5.9.3	Fossile Energiequellen	366
5.9.4	Regenerative Energiequellen	367
5.9.5	Zusammenfassung	372
5.9.6	Kraftstoffsteckbriefe	372
6	Aufbau	379
6.1	Karosseriebauweisen	379
6.1.1	Selbsttragende Karosserie	379
6.1.1.1	Entwicklungsanforderungen	379
6.1.1.2	Außenhaut	379
6.1.1.2.1	Design	379
6.1.1.2.2	Aerodynamik und Aeroakustik	380
6.1.1.3	Package	381
6.1.1.4	Karosseriestruktur	382
6.1.1.4.1	Unterbau	382
6.1.1.4.2	Aufbau	384
6.1.1.4.3	Zusammenbau Seitenwand	385
6.1.1.4.4	Dach	385
6.1.1.4.5	Anbauteile	385
6.1.1.4.6	Verbindungstechnik	386
6.1.1.4.7	Materialauswahl und Leichtbau	386
6.1.1.4.8	Sicken und Verprägungen	388
6.1.1.5	Karosserieeigenschaften	388
6.1.1.5.1	Zusammenbautoleranzen	388
6.1.1.5.2	Karosseriesteifigkeiten	389
6.1.1.5.3	Aufprallverhalten	390
6.1.1.6	Ausblick	390

6.1.2	Space-Frame	390
6.1.2.1	Einleitung	390
6.1.2.2	AUDI-Space-Frame	391
6.1.2.3	Das Karosseriekonzept des ASF [®]	392
6.1.2.4	Der Aufbau der ASF Karosserie A8 (D3)	393
	6.1.2.4.1 Fortschritte in der ASF Architektur nach sechzehn Jahren Produktionserfahrung	394
6.1.2.5	Werkstoffe und Fertigungstechnologien	394
	6.1.2.5.1 Blechteile und Verfahren	394
	6.1.2.5.2 Strangpressprofile und Verfahren	395
	6.1.2.5.3 Gussteile und Verfahren	396
6.1.2.6	Fügeverfahren	396
	6.1.2.6.1 MIG-Schweißen mit Impulslichtbogen	397
	6.1.2.6.2 Stanznieten mit Halbhohlniet	397
	6.1.2.6.3 Vollstanznieten	397
	6.1.2.6.4 Automatisiertes Direktverschrauben (FDS – Flow Drill Screws)	397
	6.1.2.6.5 Laserstrahl-Schweißen	398
	6.1.2.6.6 Laserstrahl-MIG-Hybridschweißen	398
	6.1.2.6.7 Rollfalzen + Kleben	398
6.1.2.7	Reparaturkonzept	398
6.1.2.8	Energiebilanz	399
6.1.3	Karosserie Stahlleichtbau-Studien	400
6.1.3.1	Einleitung	400
6.1.3.2	Zielsetzung	401
6.1.3.3	Umsetzung	401
	6.1.3.3.1 Werkstoffleichtbau	402
6.1.3.4	Fertigungsleichtbau	403
	6.1.3.4.1 Innenhochdruckumformung (IHU)	403
	6.1.3.4.2 Laserschweißen	403
	6.1.3.4.3 Tailored blanks/Tailored tubes	404
	6.1.3.4.4 Formleichtbau	404
6.1.3.5	Wirtschaftlichkeit	405
6.1.3.6	Ergebnis	405
6.1.4	Cabriolet	406
6.1.4.1	Einführung	406
6.1.4.2	Rohbau	407
	6.1.4.2.1 Karosseriesteifigkeit	407
	6.1.4.2.2 Karosserietilger	408
	6.1.4.2.3 Betriebsfeste Auslegung von Cabrioletkarosserien	408
6.1.4.3	Sicherheitsrelevante Auslegung von Cabriolets	408
6.1.4.4	Aeroakustik	409
6.1.4.5	Türen	409
6.1.4.6	Dachsystem	410
	6.1.4.6.1 Faltbares Festdach (Retractable Hardtop)	411
	6.1.4.6.2 Stoffverdeck (Softtop)	411
6.1.5	Frontendmodule	413
	6.1.5.1 Bestandteile von Frontendmodulen	413
	6.1.5.2 Entwicklungs- und Fertigungskompetenz für Frontendmodule	414
	6.1.5.3 Innovationen für Frontendmodule	414
6.2	Materialien der Karosserie	415
6.2.1	Historischer Rückblick	415
6.2.2	Konzepte und Bauweisen	416
6.2.3	Anforderungen und Auslegungskriterien an die Werkstoffe der Karosserie	417
6.2.4	Typische Karosseriewerkstoffe	420
	6.2.4.1 Stahlwerkstoffe	420
	6.2.4.2 Aluminiumlegierungen	422
	6.2.4.3 Magnesiumlegierungen	423

6.2.4.4	Kunststoffe.....	423
6.2.4.4.1	Thermoplaste.....	424
6.2.4.4.2	Duroplaste.....	425
6.2.5	Sortenreine Beispiele.....	425
6.2.5.1	Stahl Seitenrahmen.....	425
6.2.5.2	Aluminium Seitentür.....	426
6.2.5.3	Magnesium Instrumententafelträger.....	426
6.2.5.4	Hardtop als Sandwichkonstruktion.....	426
6.2.6	Mischbauweisen.....	426
6.2.6.1	Mischbau in der Karosserie.....	426
6.2.6.2	Mischbau im Innenraum (Cockpit) und Frontendmodule.....	428
6.2.7	Materialspezifische Aspekte der Fertigungstechnik.....	430
6.2.7.1	Tailored products.....	430
6.2.7.2	Superplastisches Umformen (SPF).....	431
6.2.7.3	Innenhochdruckumformen (IHU).....	431
6.2.7.4	Folientechnik als Alternative zur Nasslackierung.....	432
6.2.7.5	Fügeverfahren.....	434
6.3	Oberflächenschutz.....	434
6.3.1	Nutzen des Oberflächenschutzes.....	434
6.3.1.1	Korrosionsschutz.....	434
6.3.1.2	Oberflächenschutz.....	436
6.3.2	Entwicklung und Produktion des Oberflächenschutzes.....	436
6.3.2.1	Blechvorbeschichtung.....	436
6.3.2.2	Maßnahmen in der Karosseriekonstruktion.....	436
6.3.2.3	Maßnahmen in der Produktion.....	437
6.3.2.3.1	Kleben und Dichten.....	437
6.3.2.3.2	Vorbehandlung.....	439
6.3.2.3.3	Elektrotauchlackierung.....	441
6.3.2.3.4	Grund- und Decklackierung.....	441
6.3.2.4	Hohlraumkonservierung und Unterbodenschutz.....	443
6.3.2.4.1	Hohlraumkonservierung.....	443
6.3.2.4.2	Unterbodenschutz.....	443
6.3.2.5	Transportschutz.....	444
6.3.3	Ausblick.....	444
6.4	Fahrzeuginnenraum.....	445
6.4.1	Ergonomie und Komfort.....	445
6.4.1.1	Ergonomische Anforderungen an das „Gesamtfahrzeug“.....	446
6.4.1.2	Ergonomische Grundaussagen.....	448
6.4.1.3	Entwicklungsmethoden, Einbindung der Ergonomie in den Produktentstehungsprozess.....	452
6.4.1.4	Neue Entwicklungen zur Mensch-Maschine-Interaktion.....	454
6.4.2	Kommunikationssysteme und Navigation.....	456
6.4.2.1	Ziele und Lösungen.....	456
6.4.2.2	Rundfunkempfang.....	456
6.4.2.2.1	Analoger Rundfunkempfänger.....	456
6.4.2.2.2	RDS (Radio Data System).....	458
6.4.2.2.3	TMC.....	458
6.4.2.3	Digitaler Rundfunkempfang.....	458
6.4.2.3.1	DAB.....	458
6.4.2.3.2	DRM (Digital Radio Mondiale).....	459
6.4.2.3.3	Satellitenradio.....	459
6.4.2.4	Mobilfunk im Kfz.....	459
6.4.2.4.1	UMTS.....	460
6.4.2.4.2	Handys im Fahrzeug.....	460
6.4.2.4.3	Internet Dienste im Fahrzeug.....	460
6.4.2.5	Bakenkommunikation.....	460
6.4.2.6	Fahrzeug-Fahrzeug und Fahrzeug Infrastruktur Kommunikation.....	461
6.4.2.7	Navigation.....	461

6.4.2.8	Digitale Karte	462
6.4.2.8.1	Dynamische Navigation	462
6.4.2.8.2	Fahrerinformationssysteme	463
6.4.3	Innenraumbehaglichkeit/Thermischer Komfort	464
6.4.3.1	Komfortbedürfnisse der Fahrzeuginsassen	464
6.4.3.2	Funktionen und Aufbau von Klimageräten	465
6.4.3.2.1	Funktionen des Klimagerätes – Luft fördern	466
6.4.3.2.2	Funktionen des Klimagerätes – Luft reinigen	467
6.4.3.2.3	Funktionen des Klimagerätes – Luft temperieren und entfeuchten ..	468
6.4.3.2.4	Funktionen des Klimagerätes – Luft verteilen	469
6.4.3.2.5	Bauformen von Klimageräten	469
6.4.3.2.6	Mehrzonigkeit und Zusatzgeräte	470
6.4.3.3	Steuerung und Regelung von Klimaanlage	470
6.4.3.3.1	Regelung und Automatisierungsgrade	470
6.4.3.3.2	Bedienung	471
6.4.3.3.3	Aktuatorik, Sensorik	472
6.4.4	Fahrzeuginnenausstattung	472
6.4.4.1	Zur Geschichte des Innenraums	472
6.4.4.2	Anforderungen an Innenraum und Komponenten	473
6.4.4.2.1	Optik	473
6.4.4.2.2	Olfaktorik	473
6.4.4.2.3	Ergonomie	474
6.4.4.2.4	Haptik	474
6.4.4.2.5	Akustik	474
6.4.4.2.6	Sicherheit	474
6.4.4.2.7	Thermischer Komfort	475
6.4.4.3	Baugruppen des Innenraums	475
6.4.4.3.1	Cockpit/Tunnelkonsole	475
6.4.4.3.2	Sitze	476
6.4.4.3.3	Tür-, Seitenverkleidungen	477
6.4.4.3.4	Dachhimmel, Säulenverkleidung	478
6.4.4.3.5	Gepäckraum/Laderaum	478
6.4.4.3.6	Bodenverkleidung, Akustik	479
6.4.4.4	Entwicklungsablauf Innenraum	479
6.4.4.4.1	Lastenheft	479
6.4.4.4.2	Berechnung/Digital Mockup	479
6.4.4.4.3	Teilekonstruktion	480
6.4.4.4.4	Datenkontrollmodelle	480
6.4.4.4.5	Prototypen/Testing	481
6.4.4.4.6	Serienproduktion/Montage	481
6.4.4.4.7	Variantenmanagement	481
6.4.4.5	Ausblick	481
6.5	Wischer- und Wascheranlagen	482
7	Fahrwerk	484
7.1	Einführung	484
7.1.1	Definition des Begriffs Fahrwerk	484
7.1.2	Aufgaben des Fahrwerks	484
7.1.3	Fahrdynamik und Fahrwerkskräfte	485
7.1.3.1	Querdynamik: Fahrwerkskräfte in Querrichtung	486
7.1.3.1.1	Lenken der Räder	486
7.1.3.1.2	Querverschiebung des Radaufstandspunktes	487
7.1.3.1.3	Stabilisieren des Fahrzeugs auf einer vorgegebenen Bahn	488
7.1.3.2	Längsdynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeuginnenraum	488
7.1.3.3	Vertikaldynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeughochrichtung	489
7.1.4	Basis-Zielkonflikte	490
7.1.5	Ausblick	492

7.2	Bremssysteme	492
7.2.1	Einführung	492
7.2.2	Auslegung von Bremssystemen.....	493
7.2.2.1	Physikalische Grundlagen	493
7.2.2.2	Bremskraftverteilung	495
7.2.2.3	Bremspedalcharakteristik	495
7.2.2.4	Thermische Dimensionierung.....	496
7.2.2.5	Auslegungsaspekte bei regenerativen Bremssystemen	498
7.2.3	Bremssystemkomponenten.....	499
7.2.3.1	Bremspedal	499
7.2.3.2	Bremskraftverstärker	499
7.2.3.3	Vakuumpumpe.....	500
7.2.3.4	(Tandem)-Hauptzylinder	501
7.2.3.5	Ausgleichbehälter	501
7.2.3.6	Bremsflüssigkeit	502
7.2.3.7	Bremsleitungen und -schläuche.....	502
7.2.3.8	Bremskraftverteiler	502
7.2.3.9	Hydraulisch/Elektronische Regeleinheit (HECU).....	503
7.2.3.10	Scheibenbremsen	505
7.2.3.11	Bremsscheiben.....	508
7.2.3.12	Bremsbeläge	510
7.2.3.13	Trommelbremsen.....	510
7.2.4	Sensoren	512
7.2.4.1	Betätigungswegsensor	512
7.2.4.2	Raddrehzahlsensor	512
7.2.4.3	Beschleunigungssensor (längs und quer)	513
7.2.4.4	Gierratensensor	514
7.2.4.5	Lenkradwinkelsensor.....	514
7.2.4.6	Drucksensor	514
7.2.4.7	Abstandssensoren	515
7.2.5	Bremsenfunktionen und Assistenzsysteme	515
7.2.5.1	Antiblockiersystem (ABS)	516
7.2.5.2	Elektronische Bremskraftverteilung (EBV)	520
7.2.5.3	Erweitertes Stabilitäts-Bremssystem (ABS-plus).....	520
7.2.5.4	Antriebsschlupfregelung (ASR)	520
7.2.5.5	Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP/DSC/VSC).....	521
7.2.5.6	Bremsassistent (MBA, EBA, HBA)	522
7.2.5.7	Bremskraftverstärkerunterstützung	523
7.2.5.8	Active Rollover Protection (ARP).....	524
7.2.5.9	Abstandsregelsysteme	524
7.2.5.10	Elektrische Feststellbremse (Parkbremse) EPB	524
7.2.6	Neue und zukünftige Systemarchitekturen	526
7.2.6.1	Elektrohydraulisches Bremssystem (EHB)	526
7.2.6.2	Regeneratives Bremsen	527
7.2.6.3	Elektrisch-Hydraulische Combi Bremse (EHCB).....	528
7.2.6.4	Vernetztes Chassis.....	529
7.2.6.5	Elektromechanisches Bremssystem (EMB)	531
7.2.6.6	Ausblick.....	532
7.3	Reifen, Räder, Gleitschutzketten	533
7.3.1	Einführung	533
7.3.2	Reifenaufbau.....	534
7.3.3	Anforderungen an Reifen	534
7.3.3.1	Gebrauchseigenschaften	535
7.3.3.2	Gesetzliche Anforderungen	537
7.3.3.3	Reifen und Räder, Normung.....	538
7.3.3.4	Reifenkennzeichnung, EU-Label.....	538
7.3.4	Kraftübertragung Reifen Fahrbahn.....	539
7.3.4.1	Tragverhalten.....	539

7.3.4.2	Kraftschlussverhalten, Aufbau von Horizontalkräften	540
7.3.4.3	Antreiben und Bremsen; Umfangskräfte	541
7.3.4.4	Schräglauf; Kräfte und Momente	542
7.3.4.5	Reifen unter Quer- und Längsschlupf	544
7.3.4.6	Reifengleichförmigkeit	544
7.3.5	Reifen als integraler Baustein des Gesamtsystems Fahrzeug	545
7.3.5.1	Reifenmechanik, Materialeigenschaften	545
7.3.5.2	Reifenmodelle	547
7.3.5.3	Gesamtmodelle	547
7.3.5.4	Beschreibung des Fahrverhaltens	547
7.3.5.5	Synergien zwischen Reifen und anderen Systemkomponenten	547
7.3.5.6	Reifensysteme mit Notlaufeigenschaften	548
7.3.6	Zukünftige Reifentechnologien	548
7.3.6.1	Reifenbezogene Zusatzprodukte	549
7.3.6.2	Reifendruckkontrolle	549
7.3.6.3	Auf Reifen abgestimmte Komponenten im Fahrwerk	549
7.3.6.4	Materialentwicklung	549
7.3.6.5	Reifen mit erweiterten Funktionen	550
7.3.7	Räder	551
7.3.7.1	Einführung/Historie	551
7.3.7.2	Normung/Terminologie	552
7.3.7.3	Wesentliche Herstellverfahren	552
7.3.7.4	Serieneinsatz (Marktanteile heute und in Zukunft)	552
7.3.7.5	Entwicklungs-Methodik	552
7.3.7.5.1	CAD Konstruktion	552
7.3.7.5.2	Finite Elemente Analyse	552
7.3.7.5.3	Prüfstandserprobung	552
7.3.7.5.4	Fahrerprobung im Rahmen der Fahrzeugentwicklung (Dauerläufer)	555
7.3.7.5.5	Entwicklungstendenzen zur Methodik	555
7.3.7.6	Fertigungsverfahren – Weiterentwicklung	555
7.3.7.6.1	Stahlrad	555
7.3.7.6.2	Leichtmetallrad	556
7.3.7.6.3	Kunststoff-Rad (Composite-Rad)	557
7.3.7.7	Gewichtsrelationen	557
7.3.7.8	Größenrelationen	558
7.3.7.9	Rad/Reifen – Besondere Aspekte	558
7.3.7.10	Energiebetrachtung bei Herstellung/Recycling	558
7.3.7.11	Umweltschonung	558
7.3.8	Gleitschutzketten	559
7.3.8.1	Einleitung	559
7.3.8.2	Wirkungsprinzip von Gleitschutzketten	559
7.3.8.3	Aufbau von Gleitschutzketten	559
7.3.8.3.1	Laufnetzformen	559
7.3.8.3.2	Greifelemente	559
7.3.8.3.3	Dimensionierung	560
7.3.8.4	Kraftübertragung Kette – Fahrbahn	560
7.3.8.5	Montagesysteme	561
7.4	Fahrwerkkauslegung	562
7.4.1	Kinematik der Radaufhängung	562
7.4.1.1	Radhubkinematik	562
7.4.1.2	Lenkkinematik	564
7.4.2	Elastokinematik	565
7.4.2.1	Wirkung von Bauteilelastizitäten	565
7.4.2.2	Elastomerlager	566
7.4.2.3	Wirkung äußerer Kräfte	571
7.4.3	Radaufhängungen	575
7.4.3.1	Starrachsen	576

	7.4.3.2 Einzelradaufhängungen	576
	7.4.3.3 Verbundachsen	579
7.4.4	Federung, Dämpfung, Stabilisatoren	580
	7.4.4.1 Tragfeder	581
	7.4.4.2 Stabilisierung	583
	7.4.4.3 Schwingungsdämpfung	584
	7.4.4.4 Vertikaldynamiksysteme	587
	7.4.4.5 Ausblick	591
7.4.5	Lenkung	592
	7.4.5.1 Lenkungskinetik	593
	7.4.5.2 Lenkgetriebe und -gestänge	601
	7.4.5.3 Lenkunterstützung	603
7.4.6	Aktive Lenksysteme	608
	7.4.6.1 Einleitung	608
	7.4.6.2 Aktive Vorderradlenkungen	609
	7.4.6.2.1 Aktive Servolenkungen	609
	7.4.6.2.2 Lenkungen mit aktiv veränderlicher Übersetzung	609
	7.4.6.2.3 Überlagerungslenkungen	609
	7.4.6.2.4 Integration von Überlagerungslenkung und geregelter Servolenkung	611
	7.4.6.2.5 „Steer by wire“-Lenksysteme	612
	7.4.6.3 Aktive Hinterradlenkungen	613
	7.4.6.3.1 Hinterradlenkungen ohne fahrdynamische Regelung	615
	7.4.6.3.2 Hinterradlenkungen mit fahrdynamischer Regelung	616
	7.4.6.4 Aktive geregelte Vorder- und Hinterachslenksysteme	617
7.5	Beurteilungskriterien	619
	7.5.1 Subjektive Fahreigenschaftsbeurteilung	619
	7.5.2 Objektive Fahreigenschaftsbeurteilung	620
	7.5.2.1 Geradeausfahrt	621
	7.5.2.2 Kurvenverhalten	622
	7.5.2.3 Übergangsverhalten	624
	7.5.2.4 Weitere Testverfahren	625
	7.5.2.5 Ausblick	625
7.6	Kraftstoffsystem	627
	7.6.1 Gesetzliche und kundenspezifische Vorschriften	627
	7.6.1.1 Gesetzliche Vorschriften	627
	7.6.1.2 Kundenspezifische Anforderungen	629
	7.6.2 Anordnung im Fahrzeug	629
	7.6.3 Systemvarianten	630
	7.6.3.1 Externes Ausgleichsvolumen	630
	7.6.3.2 Internes Ausgleichsvolumen	630
	7.6.3.3 Auslegungskriterien	630
	7.6.4 Kraftstoff-Behälter	630
	7.6.4.1 Metall-Kraftstoff-Behälter	631
	7.6.4.2 Kunststoff-Kraftstoff-Behälter	631
	7.6.5 Fördersysteme	632
	7.6.5.1 Förderung des Kraftstoffs	632
	7.6.5.2 Elektro-Kraftstoff-Pumpe (EKP) und deren Anordnung	632
	7.6.5.3 Pumpenanordnungen	633
	7.6.5.4 Anforderungen zur elektrischen/elektronischen Systemeinbindung	633
	7.6.5.5 Elektro-Kraftstoff-Pumpen-Regelung	633
	7.6.5.6 Saugstrahlpumpe	634
	7.6.5.7 Schwalltopf	634
	7.6.6 Filtrierung des Kraftstoffs	634
	7.6.7 Volumen-Messeinrichtung	635
	7.6.7.1 Hebelgeber	635
	7.6.7.2 Tauchrohrgeber	635
7.6.8	Aktivkohlefilter (AKF)	635

7.6.9	Besondere Anforderungen an die KVA bei hybridisierten Fahrzeugen.....	636
7.6.10	Ausblick.....	637
7.7	Kraftstoffversorgungsanlagen für alternative Energieträger	637
7.7.1	Anforderungen.....	637
7.7.2	Gesetzliche Vorschriften	638
7.7.3	Anordnung im Fahrzeug.....	638
7.7.4	Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für Druckgas	638
7.7.4.1	Kraftstoffbehälter.....	638
7.7.4.2	Kraftstoffsysteme.....	640
7.7.5	Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für tiefkalt flüssige Gase	640
7.7.5.1	Kraftstoffbehälter.....	640
7.7.5.2	Kraftstoffsysteme.....	641
7.7.6	Entwicklungstendenzen.....	642
8	Elektrik/Elektronik/Software	644
8.1	Bedeutung Elektrik/Elektronik/Software für das Automobil	644
8.1.1	Einleitung	644
8.1.2	Neue Anforderungen an Entwicklungsprozess und Technologie.....	646
8.1.3	Systems Engineering	646
8.1.3.1	Eigenschaften des Entwicklungsprozesses.....	647
8.1.3.2	Systemintegration	649
8.1.4	Neues Technologiekonzept: AUTOSAR.....	651
8.1.5	Ausblick.....	653
8.2	Das Bordnetz.....	654
8.2.1	Bestandteile des Bordnetzes	654
8.2.1.1	Übersicht.....	654
8.2.1.2	Randbedingungen	655
8.2.1.3	Leitungen	655
8.2.1.4	Knotenpunkte.....	657
8.2.1.5	Sicherungen	657
8.2.1.6	Steckverbindungen	657
8.2.1.7	Kontakte.....	659
8.2.2	Auslegungskriterien.....	660
8.2.2.1	Bestandteile einer qualitätsorientierten Bordnetzauslegung.....	660
8.2.2.2	Leitungsstrangfertigung.....	662
8.2.2.3	Variantenbildung	663
8.2.2.4	Logistik und Fahrzeugmontage	665
8.2.3	Architektur des Bordnetzes	666
8.2.3.1	Topologie, Koppel- und Trennstellen.....	666
8.2.3.2	Ausstattungsvarianten.....	667
8.2.3.3	Systemarchitekturen	667
8.2.3.4	Energieversorgung und Absicherung	669
8.2.3.5	Bordnetzstabilisierung.....	669
8.2.3.6	Hochvoltbordnetze.....	672
8.2.4	Der Bordnetz-Entwicklungsprozess	673
8.2.4.1	Abläufe	673
8.2.4.2	CAE und CAD-Werkzeuge	675
8.2.4.3	Lieferantenstruktur	677
8.2.5	Entwicklungstrends	677
8.3	Kommunikationsbordnetze.....	679
8.3.1	Einleitung	679
8.3.2	Kabelgebundene Bordnetze.....	679
8.3.2.1	Elektrische Kommunikationsbordnetze.....	680
8.3.2.2	Optische Kommunikationsbordnetze	682
8.3.3	Drahtlose Kommunikationsbordnetze	683
8.3.4	Zusammenfassung und Ausblick.....	686
8.4	Elektromagnetische Verträglichkeit – EMV.....	686
8.4.1	Eigenentstörung.....	686

8.4.2	Störfestigkeit gegen externe elektromagnetische Felder	688
8.4.3	Fernentstörung	688
8.4.4	Normen und Richtlinien	688
8.4.5	Sicherstellung der EMV	688
8.5	Funktionsdomänen	690
8.5.1	Einleitung	690
8.5.2	Beleuchtung	690
8.5.2.1	Zulassung	690
8.5.2.2	Lichttechnische Begriffe	690
8.5.2.3	Scheinwerfer	691
8.5.2.3.1	Historische Entwicklung	691
8.5.2.3.2	Scheinwerferarten	691
8.5.2.3.3	Reflektortechnologie	692
8.5.2.3.4	Abschlusscheibe	692
8.5.2.3.5	Scheinwerfer-Einstellung	693
8.5.2.3.6	Scheinwerfer-Lichtquellen	694
8.5.2.3.7	Xenonlicht	695
8.5.2.4	Bi-Xenon	696
8.5.2.5	Lichtbewertung	696
8.5.2.6	Tagfahrlicht und Positionslicht	697
8.5.2.7	Zusatzscheinwerfer	697
8.5.2.8	Intelligente Scheinwerfer	698
8.5.2.9	LED Scheinwerfer	699
8.5.2.10	Signalleuchten	700
8.5.2.11	Lichtquellen für Signalleuchten	701
8.5.2.12	Bauformen	702
8.5.2.13	Dynamisches Bremslicht und Leuchten-Zukunftsentwicklungen	702
8.5.2.14	Innenbeleuchtung und Einstiegsleuchten	702
8.5.2.15	Beleuchtungsstyling	703
8.5.3	Cockpit-Instrumentierung	703
8.5.3.1	Einleitung	703
8.5.3.2	Informationsdarstellung	704
8.5.3.2.1	Kombinations-Instrument	704
8.5.3.2.2	LC-Displays im Kombinations-Instrument	704
8.5.3.2.3	Weitere Display-Arten im Cockpit	705
8.5.3.2.4	Head-up-Display (HUD)	705
8.5.3.3	Eingabelemente	705
8.5.3.4	Ausblick	706
8.5.4	Infotainment/Multimedia	707
8.5.4.1	Einleitung	707
8.5.4.2	Broadcasting	707
8.5.4.2.1	Audio Broadcasting	707
8.5.4.2.2	Video Broadcasting	708
8.5.4.3	Medien	709
8.5.4.3.1	Interne Medienquellen	709
8.5.4.3.2	Connectivity	709
8.5.4.4	HMI	712
8.5.4.4.1	Anzeigeelemente	712
8.5.4.4.2	Bedienelemente	713
8.5.4.4.3	Spracherkennung	713
8.5.4.5	Architektur	714
8.5.4.5.1	Hardwarearchitektur im Fahrzeug	714
8.5.4.5.2	Infotainment-Hardwarearchitekturen	715
8.5.4.5.3	Infotainment-Softwarearchitekturen	717
8.5.4.6	Ausblick	718
8.5.4.7	Fahrzeugantennen	718
8.5.5	Fahrerassistenzsysteme	722
8.5.5.1	Unfallursachen und Fahrerassistenzsysteme zu ihrer Vermeidung	722

8.5.5.2	Fahrerassistenz.....	723
8.5.5.3	Fahrzeugkommunikationssysteme.....	723
8.5.5.4	Fahrerassistenzsysteme zur Fahrzeugstabilisierung	724
8.5.5.5	Prädiktive Fahrerassistenzsysteme	724
8.5.5.5.1	Sensoren für Fahrerassistenzsysteme.....	724
8.5.5.5.2	Ultranahbereichssensoren in Ultraschalltechnik.....	724
8.5.5.5.3	Fernbereichsradar 77 GHz	725
8.5.5.5.4	Fernbereichslidar.....	725
8.5.5.5.5	Nahbereichssensoren.....	726
8.5.5.5.6	Video Sensor	726
8.5.5.6	Fahrerassistenzsysteme für Komfort und Sicherheit.....	726
8.5.5.6.1	Einparkhilfe-Systeme	726
8.5.5.6.2	Adaptive Cruise Control (ACC).....	727
8.5.5.6.3	Prädiktive Sicherheitssysteme (Predictive Safety Systems, PSS).....	728
8.5.5.6.4	Bildgebende Video Systeme	729
8.5.5.6.5	Videosysteme mit Bildverarbeitung.....	731
8.5.5.7	Adaptive Systeme	733
8.5.5.8	Zusammenfassung und Ausblick.....	734
8.5.6	Telematik.....	736
8.5.6.1	Grundlagen und Technologien der Verkehrstelematik.....	737
8.5.6.2	Endgeräte.....	738
8.5.6.3	Dienstleistungen der Zukunft	739
8.6	Mensch-Maschine-Interaktion	740
8.6.1	Das System Fahrer–Fahrzeug	742
8.6.2	Informationsvermittlung.....	743
8.6.3	Ein einfaches kognitives Fahrermodell	744
8.6.4	Messung der Leistung, Belastung und Beanspruchung.....	745
8.6.5	Simulation.....	746
8.7	Software	747
8.7.1	Vorbemerkungen zum Thema Software.....	748
8.7.2	Softwareentwicklungsprozess	748
8.7.2.1	Einbettung in den Systementwicklungsprozess.....	749
8.7.2.2	Anforderungsanalyse und -spezifikation	749
8.7.2.3	Design und Architektur	749
8.7.2.4	Implementierung und Modultest	750
8.7.2.5	Integration.....	750
8.7.2.6	Validierung und Verifikation.....	750
8.7.2.7	Produktion und Wartung	750
8.7.3	Erfolgsfaktoren	750
8.7.3.1	Modellbildung	750
8.7.3.2	Mensch-Maschine-Interaktion.....	751
8.7.3.3	Qualitätssicherung	751
8.7.4	Entkopplung von Infrastruktur und Plattformen	752
8.7.5	Produktlinien	752
8.7.6	Anwendungsfelder.....	753
8.7.6.1	Fahrerassistenzsysteme.....	753
8.7.6.2	Infotainment.....	753
8.7.6.3	Karosserie- und Komfortfunktionen.....	753
8.7.6.4	Sicherheitsfunktionen	753
8.7.7	Technische Herausforderungen zur Software im Fahrzeug	754
8.7.7.1	Zuverlässigkeit.....	754
8.7.7.2	Wartung und Logistik.....	754
8.7.7.3	Vernetzung.....	755
8.7.7.4	Multiplexing, Zeitbeherrschung und Determinismus	755
8.7.7.5	IT-Security.....	755
8.7.8	Potenzial	755

8.7.9	Organisatorische Herausforderungen	756
8.7.9.1	Prozesse	756
8.7.9.2	Auswirkungen und langfristige Perspektiven.....	756
8.8	Moderne Methoden der Regelungstechnik	757
8.8.1	Anforderungen an Regelsysteme im Kraftfahrzeug	757
8.8.2	Moderne Reglerentwurfverfahren.....	758
8.8.2.1	Adaptive Regelung	758
8.8.2.2	Fuzzy-Regelung.....	758
8.8.2.3	I -Synthese.....	759
8.8.2.4	Neuronale Regelung	759
8.8.2.5	Norm-optimale Regelung	760
8.8.2.6	Prädiktive Regelung	760
8.8.2.7	Quantitative Feedback Theory (QFT)	760
8.8.3	Evaluierung moderner Regelungsverfahren	761
8.8.4	Ausblick.....	761
9	Fahrzeugsicherheit.....	763
9.1	Allgemein.....	763
9.2	Gebiete der Fahrzeugsicherheit.....	764
9.3	Ergebnisse aus der Unfallforschung	764
9.3.1	Einleitung	764
9.3.2	Amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik.....	765
9.3.3	Verkehrsunfalldaten der Versicherungen	766
9.3.4	„In-Depth“ Unfallerehebungen	766
9.4	Unfallvermeidende Sicherheit	769
9.4.1	Assistenzsysteme der Fahrzeugebene.....	769
9.4.2	Assistenzsysteme mit Umfeldsensorik.....	770
9.4.2.1	Systeme der Längsführung	770
9.4.2.2	Systeme der Querverführung	771
9.4.2.3	Nachtassistentz	772
9.5	Biomechanik und Schutzkriterien.....	773
9.5.1	Biomechanik.....	773
9.5.1.1	Grundlagen	773
9.5.1.2	Belastungsgrenzen	773
9.5.2	Schutzkriterien.....	774
9.5.3	Simulationseinrichtungen	776
9.5.3.1	Kopf.....	776
9.5.3.2	Bein, Hüfte.....	776
9.5.3.3	Rumpf.....	776
9.5.3.4	Gesamtkörper.....	776
9.6	Quasistatische Anforderungen an die Karosserie	776
9.6.1	Sitz- und Sicherheitsgurtverankerungspunkttests.....	776
9.6.2	Dachfestigkeit.....	777
9.6.3	Seitenstruktur.....	777
9.7	Dynamische Fahrzeugkollision.....	777
9.7.1	Frontale Kollision.....	777
9.7.2	Seitliche Kollisionen.....	779
9.7.3	Heckkollision.....	780
9.7.4	Fahrzeugüberschlag	780
9.8	Insassenschutz.....	781
9.8.1	Fahrzeuginnenraum	781
9.8.2	Rückhaltesysteme	781
9.8.2.1	Sicherheitsgurte	782
9.8.2.2	Kinderrückhaltesysteme	782
9.8.2.3	Airbag-Systeme	783
9.8.2.4	Sitze, Sitzlehne und Kopfstütze.....	785
9.8.3	Zusammenwirken von Rückhaltesystemen und Fahrzeug	785
9.8.3.1	Unangegurteter Insasse.....	785

9.8.3.2	Angelegter Dreipunktgurt.....	786
9.8.3.3	Airbag-Systeme	786
9.8.4	Seitenkollisionen	787
9.8.4.1	Theoretische Betrachtung.....	787
9.8.4.2	In den USA und Europa definierte Seitenaufpralltests.....	788
9.8.5	Kompatibilität.....	788
9.8.5.1	Allgemeine Aussage.....	788
9.8.5.2	Pkw/Lkw-Kollision	789
9.8.5.3	Fußgängerkollision	790
9.9	Integrale Sicherheit	791
9.9.1	Fahrer, Fahrzeug und Umfeld.....	791
9.9.2	PreCrash	792
9.9.2.1	Automatischer Bremsengriff	793
9.9.2.2	Präventiv wirkender Insassenschutz	793
9.9.2.3	Irreversible Rückhaltesysteme.....	794
9.9.3	Integraler Fußgängerschutz	795
9.9.4	Entwicklungsprozess integraler Funktionen.....	796
9.9.4.1	Simulation vorausschauender Sicherheitssysteme	796
9.9.5	Retten und Bergen	797
9.9.6	Car2X Safety – Ausblick.....	798
9.10	Rechnerunterstützung bei der Entwicklung von Sicherheitskomponenten	799
9.10.1	Grundlagen	799
9.10.2	Beschreibung der numerischen Werkzeuge	799
9.10.3	Komponentenberechnung	799
9.10.4	Gesamtfahrzeugauslegung.....	801
9.10.4.1	Gesamtfahrzeugmodell.....	801
9.10.4.2	Fahrzeugmodell	801
9.10.4.3	Insassensimulation.....	801
9.11	Zusammenfassung	802
10	Werkstoffe und Fertigungsverfahren	805
10.1	Ein Blick zurück	805
10.2	Werkstoffe moderner Kraftfahrzeuge.....	808
10.2.1	Materialanteile im Automobilbau.....	808
10.2.2	Fortschritte in den Leistungsmerkmalen	809
10.2.2.1	Festigkeit und Verarbeitung	809
10.2.2.1.1	Stahlwerkstoffe.....	809
10.2.2.1.2	Leichtmetalle.....	814
10.2.2.1.3	Edelmetalle.....	826
10.2.2.1.4	Kunststoffe	826
10.2.2.2	Tribologie	834
10.2.2.3	Korrosionsschutz	837
10.2.3	Fortschritte in der Fügetechnik.....	839
10.2.3.1	Schweißen und Löten	839
10.2.3.2	Mechanische Fügeverfahren.....	840
10.2.3.3	Kleben.....	843
10.2.4	Fortschritte in der Um- und Umformung	844
10.2.4.1	Metalle.....	844
10.2.4.1.1	Innenhochdruckumformen	844
10.2.4.1.2	Hydromechanisches Umformen.....	845
10.2.4.1.3	Zwei-Platinen-Innenhochdruckumformen	846
10.2.4.1.4	Kaltfließpressen.....	847
10.2.4.1.5	Gießtechnik	847
10.2.4.1.6	Schmieden	850
10.2.4.1.7	Schmiedestahl.....	850
10.2.4.2	Polymere.....	851
10.2.5	Fortschritte in der Umweltverträglichkeit	853

10.2.6	Thermoelektrizität und mögliche Anwendungen im Pkw	858
10.2.7	Nanotechnologie (im Automobil).....	860
10.3	Wettbewerb und Zusammenspiel der Werkstoffe.....	866
10.4	Wälzlager im Fahrzeugbau	867
10.4.1	Einleitung	867
10.4.2	Gebäuchliche Wälzlager-Bauarten.....	867
10.4.2.1	Einreihige Rillenkugellager	867
10.4.2.2	Nadellager, Nadelkränze	868
10.4.2.3	Kegelrollenlager	868
10.4.3	Auslegung von Wälzlagern	868
10.4.3.1	Wellen- und Lagerberechnung nach Formelsammlung.....	868
10.4.3.2	Wellen- und Lagerberechnung mittels spezieller Software.....	870
10.4.4	Exemplarische Ausführungen aus der jüngeren Wälzlager-Entwicklung.....	870
10.4.4.1	Kugelrollenlager	871
10.4.4.2	Radlager.....	872
10.4.4.3	Beispiele für richtungweisende Technologien mit Wälzlagerung.....	875
10.4.4.3.1	Doppelkupplungs-Systeme.....	875
10.4.4.3.2	Ausgleichswellen mit direkter Wälzlagerung	875
10.4.4.3.3	Kugelgewinde-Antrieb	876
10.4.4.3.4	CVT-Getriebe.....	876
10.4.4.3.5	Leichtbau-Differenzial	877
10.4.4.3.6	Hybridantriebe.....	877
10.4.4.3.7	Wälzlagerung des Kurbeltriebs im Verbrennungsmotor.....	878
10.4.5	Schmierung und Schmierstoffe für Wälzlager	878
11	Produktentstehungsprozess	881
11.1	Simultaneous Engineering und Projektmanagement im Produktentstehungsprozess	881
11.1.1	Einleitung	881
11.1.2	Produktentstehungsprozess.....	881
11.1.2.1	Organisationsformen	881
11.1.2.2	Projektorganisation eines OEM.....	883
11.1.2.3	PEP-Ablauf und Meilenstein-Definition	884
11.1.3	Produktplanung.....	885
11.1.4	Innovationsmanagement.....	886
11.1.5	Produktinhalte, Lastenhefte, Gesetze	887
11.1.6	Konzeptentwicklung.....	888
11.1.7	Produkt Daten Management (PDM).....	889
11.1.8	Product Lifecycle Management (PLM).....	890
11.1.9	Serienentwicklung	891
11.1.9.1	Strak.....	891
11.1.9.2	Datenkontrollprozess	891
11.1.9.3	Planungsfreigabe	891
11.1.9.4	Virtuelle Entwicklung.....	892
11.1.9.5	Fahrzeugerprobung.....	893
11.1.9.6	Änderungsmanagement und Launch-Freigabe.....	894
11.1.9.7	Meisterbock	895
11.1.9.8	Breitenabsicherung	895
11.1.10	Serienbetreuung	895
11.1.11	Ausblick.....	895
11.2	Fahrzeugkonzeption in der frühen Entwicklungsphase	896
11.2.1	Einführung	896
11.2.1.1	Definition.....	896
11.2.1.2	Zielsetzung der frühen Entwicklungsphase.....	896
11.2.1.3	Fahrzeugkonzeptinhalte der frühen Phase.....	897
11.2.2	Vorgehensweise.....	897
11.2.2.1	Prozess.....	897
11.2.2.2	Digitaler Prototyp	897
11.2.2.3	Tools	899

11.2.3	Beispiele	899
11.2.3.1	Fahrdynamik.....	899
11.2.3.2	Passive Sicherheit – Betriebsfestigkeit.....	900
11.2.3.3	Aerodynamik	900
11.2.3.4	Fahrleistung und Verbrauch	901
11.2.4	Ausblick.....	901
11.3	Berechnung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung	901
11.3.1	Einleitung	901
11.3.2	CAE-Prozess und notwendige Infrastruktur in der Produktentstehung.....	902
11.3.2.1	CAE-Einsatz in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen.....	902
11.3.2.2	CAE-Organisation im Unternehmen	904
11.3.2.3	Computer Ressourcen für CAE.....	905
11.3.3	Anwendungsgebiete und Methoden	905
11.3.3.1	Finite Element-Methoden	905
11.3.3.2	Mehrkörpersystem-Methoden	910
11.3.3.3	Strömungssimulation	911
11.3.3.4	Elektromagnetische Verträglichkeit	915
11.3.4	Simulation von Bauteil-Herstellprozessen	915
11.3.4.1	Umformsimulation.....	915
11.3.4.2	Gießsimulation.....	916
11.3.4.3	Schweißsimulation	917
11.3.4.4	Lackiersimulation	918
11.3.5	Optimierung.....	918
11.3.5.1	Struktur-Optimierung	918
11.3.5.2	Multidimensionale Optimierung.....	918
11.3.5.3	Stochastische Simulationen	919
11.4	Mess- und Versuchstechnik	920
11.4.1	Kurzer Rückblick.....	920
11.4.2	Grundsätzliches zur Mess- und Versuchstechnik im Automobilbau.....	921
11.4.3	Einige ausgewählte Beispiele	925
11.4.4	Zur Effizienz der Mess- und Versuchstechnik	927
11.5	Qualitätsmanagement.....	930
11.6	Betrieb und Instandhaltung von Kraftfahrzeugen.....	933
11.6.1	Einführung	933
11.6.1.1	Definitionen	934
11.6.1.2	Entwicklungstendenzen	934
11.6.2	Instandhaltbarkeit und Zuverlässigkeit.....	935
11.6.2.1	Zuverlässigkeitskenngrößen	935
11.6.2.2	Weibullverteilung	935
11.6.2.3	Anwendung von Zuverlässigkeitskenngrößen.....	936
11.6.3	Lebenslaufkosten.....	937
11.6.3.1	Anschaffungskosten.....	938
11.6.3.2	Gesetzgeber abhängige Kosten.....	938
11.6.3.3	Versicherungskosten.....	938
11.6.3.4	Betriebskosten	938
11.6.3.5	Werkstattkosten	938
11.6.4	Organisation des Service-Prozesses in den Werkstätten	939
11.6.5	Instandhaltungsgerechte Konstruktion	940
11.6.5.1	Ziele und Anforderungen zur Instandhaltbarkeit.....	940
11.6.5.2	Werkstattkostenfaktor Zeit (Instandhaltungszeit, Planzeiten).....	940
11.6.5.3	Kostenfaktor Werkstattausrüstung, Spezialwerkzeuge	942
11.6.5.4	Ersatzteile, Zerlegungstiefe, Transport-, Lagerfähigkeit und Lieferzeitraum	942
11.6.5.5	Nachweis der Instandhaltbarkeit	942
11.6.5.6	Datensysteme.....	943
11.6.5.7	Virtuelle Beurteilung der Servicefreundlichkeit.....	943
11.6.5.8	Berichtswesen.....	944

11.6.6	Strategie und Konzept	945
11.6.6.1	Instandhaltungsstrategien	945
11.6.6.2	Instandhaltungskonzept	945
11.6.6.3	Anforderungen zur Instandhaltbarkeit	945
11.6.6.4	Kunden- und Lieferantenbeziehungen	945
11.6.6.5	Rolle des Managements	946
11.6.6.6	Einfluss der EU	946
10.6.6.7	Einfluss alternativer Antriebskonzeptionen	946
12	Rennfahrzeuge	949
12.1	Einsatzbedingungen	949
12.1.1	Sportbehörde	949
12.1.2	Technik-Reglement	949
12.1.3	Sport-Reglement	949
12.2	Fahrzeug-Kategorien	949
12.3	Bauweise	951
12.3.1	Monocoque	951
12.3.1.1	Struktur	952
12.3.1.2	Entwicklung	952
12.3.1.3	Fertigung	952
12.3.2	Bodywork	953
12.3.3	Motor	953
12.3.4	Getriebe	953
12.3.5	Fahrwerk	955
12.3.5.1	Achskonzept	955
12.3.5.2	Federungssystem	955
12.3.5.3	Dämpfungssystem	956
12.3.5.4	Abstimmung	956
12.4	Performance und Rundenzeit	956
12.4.1	Fahrzeugparameter	956
12.4.2	Sensitivität der direkt messbaren Fahrzeugparameter	956
12.4.3	Entwicklungspotenzial	957
12.5	Entwicklung Aerodynamik und Fahrdynamik	958
12.5.1	Aerodynamische Effizienz und Aerobalance	958
12.5.2	Einflussgrößen auf die Aerodynamik	958
12.5.2.1	Radeinschlag beim Lenken	958
12.5.2.2	Gierwinkel und Schräganströmung	958
12.5.2.3	Mechanische Fahrwerksabstimmung	959
12.5.2.4	Durchströmung des Fahrzeugs	959
12.5.3	Aerodynamik und Reifeneinfluss	960
12.5.4	Aerodynamik und Fahrdynamik	960
12.6	Zuverlässigkeit	961
13	Ausblick – Wo geht es hin?	963
	Sachwortverzeichnis	965