

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 Auswirkungen der Mobilität	5
1.4	Mobilitätsrelevante Anforderungen an Automobile	7
1.4.1	Grundsätzliche Anforderungen	7
1.4.2	Einige spezielle Anforderungen	7
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 StVZO	17
2.2.2.2	Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft	19
2.2.2.3	Regelungen der UN-Wirtschaftskommission für Europa	20
2.2.2.4	Weitere Maßnahmen zum Abbau von Handelshemmnissen	20
2.2.3	Unfallvorbeugung (aktive Sicherheit)	21
2.2.3.1	Allgemeines	21
2.2.3.2	Bremsanlage	21
2.2.3.3	Sichtfeld	22
2.2.3.4	Lichttechnische Einrichtungen	22
2.2.4	Unfallfolgenmilderung (passive Sicherheit)	22
2.2.4.1	Allgemeines	22
2.2.4.2	Insassenschutz bei Frontalaufprall	23
2.2.4.3	Insassenschutz bei Seitenaufprall	23
2.2.4.4	Fußgängerschutz	23
2.2.5	Anforderungen an das Emissionsverhalten	23
2.2.5.1	Allgemeines	23
2.2.5.2	Geräuschpegel und Auspuffanlage	23
2.2.5.3	Abgase	24
2.2.5.3.1	Emissionen von Kraftfahrzeugen	24
2.2.5.3.2	Emission aus Dieselmotoren (Rauchgastrübung)	25
2.2.5.4	Kraftstoffverbrauch und CO ₂ -Ausstoß	25
2.2.5.5	Elektromagnetische Verträglichkeit und Funkstörung	25
2.2.6	Verschiedenes	27
2.2.6.1	Anbringung des hinteren Kennzeichens	27
2.2.6.2	Sicherungseinrichtungen gegen unbefugte Benutzung, Wegfahrsperr, Diebstahlschutz	27
2.2.6.3	Fabrikschild, Fahrzeugidentifizierungsnummer	27
2.2.6.4	Messung der Motorleistung	27
2.2.6.5	Massen und Abmessungen von Klasse M ₁ -Fahrzeugen	27
2.2.6.6	Altfahrzeuge, Recycling	27
2.2.7	Ausblick	28
2.2.8	Normen	28
2.2.8.1	Einleitung	28

	2.2.8.2	Normung auf dem Gebiet des Kraftfahrzeugwesens.....	29
	2.2.8.3	Aufgabenstellung.....	30
	2.2.8.4	Nutzen der Normung.....	31
2.3		Neue Technologien.....	31
2.4		Ergebnisse aus der Unfallforschung.....	34
	2.4.1	Einleitung.....	34
	2.4.2	Datenbasis.....	35
	2.4.2.1	Amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik.....	35
	2.4.2.2	Verkehrsunfalldaten der Versicherungen.....	35
	2.4.2.3	„In-Depth“ Unfallerbhebungen.....	35
	2.4.3	Anwendung.....	37
3		Fahrzeugphysik.....	39
3.1		Grundlagen.....	39
	3.1.1	Definitionen.....	40
	3.1.2	Fahrwiderstand und Antrieb.....	40
	3.1.3	Kraftstoffverbrauch beeinflussende Maßnahmen.....	42
	3.1.4	Dynamische Kräfte.....	43
	3.1.5	Bewegung des Fahrzeugaufbaus.....	43
	3.1.6	Kräfte und Momente.....	44
	3.1.7	Radaufhängungen.....	44
	3.1.8	Lenkung.....	44
	3.1.9	Räder und Reifen.....	45
3.2		Aerodynamik.....	45
	3.2.1	Grundlagen.....	45
	3.2.2	Wirkungsbereiche.....	46
	3.2.2.1	Luftwiderstand/Fahrleistung.....	46
	3.2.2.2	Fahrsicherheit.....	48
	3.2.2.3	Benetzung und Verschmutzung.....	49
	3.2.2.4	Einzelkräfte.....	50
	3.2.2.5	Kühlung/Bauteiltemperaturen.....	51
	3.2.2.6	Innenraumklima.....	51
	3.2.2.7	Windgeräusche.....	52
	3.2.3	Einordnung in die Gesamtentwicklung.....	53
3.3		Wärmetechnik.....	54
	3.3.1	Kühlung von Verbrennungsmotoren.....	54
	3.3.1.1	Auslegung von Kühlern.....	55
	3.3.1.2	Kühlerbauarten.....	56
	3.3.1.3	Lüfter und Lüfterantriebe.....	57
	3.3.1.4	Kühlmodule.....	57
	3.3.1.5	Gesamtsystem Motorkühlung.....	58
	3.3.2	Beheizen und Kühlen des Fahrgastraumes.....	58
	3.3.2.1	Die Funktion Heizen und ihre Komponenten.....	59
	3.3.2.2	Die Funktion der Kälteanlage und ihre Komponenten.....	60
	3.3.2.3	Kompressoren und Regelung der Kälteleistung.....	62
	3.3.2.4	Auslegung der Klimaanlage.....	62
	3.3.2.5	Kraftstoffmehrverbrauch durch die Klimaanlage.....	63
	3.3.2.6	Zukünftige Kältemittel.....	64
3.4		Akustik und Schwingungen.....	65
	3.4.1	Einleitung.....	65
	3.4.2	Fahrgeräusche.....	66
	3.4.3	Motorgeräusch.....	67
	3.4.3.1	Luftschaall.....	68
	3.4.3.2	Körperschaall.....	70
	3.4.4	Rollgeräusch.....	72
	3.4.5	Windgeräusch.....	73
	3.4.6	Mechatronische Geräusche.....	75
	3.4.6.1	Stellmotoren.....	75

3.4.6.2	Fahrzeugklimatisierung	76
3.4.6.3	Lüfter und Gebläse	76
3.4.6.4	Lenkungssystem	77
3.4.6.5	Fahrwerksregelung	77
3.4.6.6	Biegeschlaffe Leitungen	78
3.4.7	Klappern, Knarzen, Quietschen	78
3.4.8	Außengeräusch	78
3.4.8.1	Standgeräusch	78
3.4.8.2	Fahrgeräusche	79
3.4.8.3	Vorbeifahrt nach ISO 362	79
3.4.8.4	Reifen/Fahrbahngeräusch	80
3.4.9	Schwingungskomfort	81
3.4.9.1	Motorerregte Schwingungen	82
3.4.9.2	Fahrbahnerregte Schwingungen	83
3.4.9.3	Raderregte Schwingungen	83
3.4.10	Prozess Akustikentwicklung	84
4	Formen und neue Konzepte	85
4.1	Design	85
4.1.1	Die Bedeutung von Design	85
4.1.2	Designziele	85
4.1.3	Der Designprozess	85
4.1.4	Der kreative Prozess	86
4.1.5	Der virtuelle Designprozess	88
4.1.6	Modellphase	88
4.1.7	Color, Trim und Individualisierung	89
4.1.8	Designaktivitäten in der Produktionsvorbereitung	89
4.1.9	Entscheidungen	90
4.1.10	Designstudien und Advanced Design	90
4.1.11	Sinnliche Wahrnehmung im Design	90
4.2	Fahrzeugkonzept und Package	93
4.2.1	Einführung und Definition	93
4.2.2	Gestaltung von Fahrzeugkonzepten	94
4.2.2.1	Außenabmessungen und Fahrzeugklassen	94
4.2.2.2	Aufbauausprägungen und Konzeptsegmente	95
4.2.2.3	Fahrzeuggrundformen	95
4.2.2.4	Sitzigkeit, Gepäckraum und Innenraumvariabilität	96
4.2.2.5	Wesentliche Innenraumabmessungen	97
4.2.2.6	Aggregate- und Antriebsstrangkonzeppte	98
4.2.2.7	Hybridkonzepte	100
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	103
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	105
4.2.3.4	Ausgewählte Aspekte des Packages	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	108
	4.2.5	Konzeption und Packageprozess in der industriellen Praxis	110
	4.2.6	Entwicklung der Fahrzeugkonzepte	111
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.....	117
	4.3.1.6	Ladegeräte	118
	4.3.1.7	Ausblick.....	118
	4.3.2	Brennstoffzellenantriebssysteme	118
	4.3.2.1	Antriebsarchitektur mit PEM-Brennstoffzellen.....	120
	4.3.2.1.1	Fuel Cell Stack	120
	4.3.2.1.2	Stack-Peripherie	123
	4.3.2.1.3	Mobile Wasserstoffspeicher.....	125
	4.3.2.1.4	Hybridisierter Brennstoffzellenantrieb.....	126
	4.3.2.2	Sicherheit.....	126
	4.3.2.3	Rechtsvorschriften und Standards	126
	4.3.2.4	Brennstoffzellen-Fahrzeuge.....	127
	4.3.2.4.1	Brennstoffzellen – Pkw und – Transporter	127
	4.3.2.4.2	Brennstoffzellen-Busse	128
	4.3.2.4.3	Demonstrationen und Flottenversuche.....	128
	4.3.2.5	Kraftstoffversorgung und Infrastruktur	131
	4.3.2.6	Ausblick.....	131
	4.3.3	Hybridantrieb.....	132
	4.3.3.1	Szenario	132
	4.3.3.2	Konzepte und Betriebsstrategien	132
	4.3.3.3	Antriebskomponenten aus Hybridsicht	138
	4.3.3.4	Fahrzeugintegration	139
	4.3.4	Stirlingmotor, Dampfmotor, Gasturbine und Schwungrad	140
	4.3.4.1	Stirlingmotor.....	140
	4.3.4.2	Dampfmotor.....	141
	4.3.4.3	Gasturbine.....	143
	4.3.4.4	Schwungrad	144
	4.3.5	Wasserstoff-Verbrennungsmotor.....	145
	4.3.5.1	H ₂ -Brennverfahren mit äußerer Gemischbildung.....	146
	4.3.5.2	H ₂ -Brennverfahren mit innerer Gemischbildung	147
	4.3.5.3	Wirkungsgradpotenziale.....	147
	4.3.5.4	H ₂ -Ottomotor als Fahrzeugantrieb.....	148
5		Antriebe	150
5.1		Grundlagen der Motorentechnik.....	150
	5.1.1	Prozess des Verbrennungsmotors.....	150
	5.1.1.1	Viertakt-Verfahren.....	150
	5.1.1.2	Zweitakt-Verfahren	151
	5.1.2	Definitionen und Kenngrößen	151
	5.1.2.1	Leistungskenngrößen.....	151
	5.1.2.2	Spezifische Motorkenngrößen	152
	5.1.2.3	Wirkungsgrade.....	152
	5.1.3	Bauarten.....	154
	5.1.3.1	Hubkolbenmotoren	154
	5.1.3.1.1	Bauformen	154
	5.1.3.1.2	Kinematik des Kurbeltriebs	156
	5.1.3.1.3	Kräfte und Momente im Triebwerk	156
	5.1.3.2	Rotationskolbenmotoren.....	160
	5.1.4	Konstruktion und Motormechnik.....	160

5.1.4.1	Kurbelgehäuse	160
5.1.4.2	Kurbelwelle	162
5.1.4.3	Pleuel	162
5.1.4.4	Kolben	163
5.1.4.5	Zylinderkopf.....	163
5.1.4.6	Ventiltrieb und Steuertrieb	163
	5.1.4.6.1 Hauptbauteile des Ventiltriebs	163
	5.1.4.6.2 Bauformen des Ventiltriebs	165
	5.1.4.6.3 Variable Ventilsteuerung	167
5.1.4.7	Motorkühlung.....	170
5.1.4.8	Motorschmierng.....	172
5.1.4.9	Saugrohr.....	174
5.1.4.10	Nebenaggregate und Package.....	174
5.1.5	Ottomotoren.....	177
5.1.5.1	Ladungswechsel.....	178
	5.1.5.1.1 Ansaugsystem	178
	5.1.5.1.2 Auspuffsystem	179
	5.1.5.1.3 Ventilsteuerzeiten	180
	5.1.5.1.4 Variable Ventilsteuerung	180
5.1.5.2	Gemischbildung.....	182
	5.1.5.2.1 Homogene Gemischbildung	183
	5.1.5.2.2 Benzin-Direkteinspritzung	184
	5.1.5.2.3 Abgasrückführung	191
	5.1.5.2.4 Ladungsbewegung	192
5.1.5.3	Zündung.....	193
5.1.5.4	Downsizing und Aufladung.....	196
	5.1.5.4.1 Betriebspunktverlagerung	196
	5.1.5.4.2 Variable Verdichtung	197
5.1.5.5	Verbrennung.....	199
5.1.5.6	Abgasreinigung.....	200
	5.1.5.6.1 Drei-Wege-Katalysator	201
	5.1.5.6.2 DeNO _x -Katalysator	203
5.1.5.7	Motormanagement.....	206
	5.1.5.7.1 Motorsteuerung	206
	5.1.5.7.2 Betriebsstrategie und Motormanagement bei Benzin-Direkteinspritzung	208
5.2	Dieselmotor.....	211
5.2.1	Definitionen.....	211
5.2.2	Ausführungsformen.....	211
5.2.3	Historie einer Erfindung	211
5.2.4	Motortechnische Grundlagen	213
	5.2.4.1 Einleitung.....	213
	5.2.4.2 Vergleich motorischer Verbrennungsverfahren	213
	5.2.4.3 Die Thermodynamik des Dieselmotors	214
5.2.5	Die dieselmotorische Verbrennung	216
	5.2.5.1 Allgemeines.....	216
	5.2.5.2 Einspritzung und Gemischbildung	216
	5.2.5.3 Selbstzündung und Zündverzug	217
	5.2.5.4 Abgasemissionen.....	219
5.2.6	Konstruktive Merkmale der Einspritzsysteme	222
	5.2.6.1 Verteilereinspritzpumpe	223
	5.2.6.2 Reihenpumpe	223
	5.2.6.3 Einspritzdüsen und Düsenhalter	224
	5.2.6.4 Pumpe-Düse.....	225
	5.2.6.5 Speichereinspritzsystem	227
	5.2.6.6 Simulation von Einspritzsystemen	227
5.2.7	Konstruktive Merkmale der Verbrennungsverfahren.....	228
	5.2.7.1 Vorkammerverfahren.....	228

	5.2.7.2	Wirbelkammervorverfahren.....	228
	5.2.7.3	Direkte Einspritzung.....	228
	5.2.7.4	Triebwerk und Zylinderkopf.....	230
	5.2.7.5	Aufladung.....	230
	5.2.7.6	Abgasrückführung.....	231
5.2.8		Qualitative Bewertung von Verbrennungsverfahren.....	231
5.2.9		Abgasnachbehandlung.....	232
	5.2.9.1	Oxidationskatalysator.....	232
	5.2.9.2	Dieselpartikel.....	233
	5.2.9.3	Dieselpartikelfilter.....	235
	5.2.9.4	Entstickung.....	236
5.2.10		Dieselmotorkraftstoffe.....	239
5.2.11		Simulation der dieselmotorischen Verbrennung.....	241
5.2.12		Die Zukunft des Dieselmotors.....	242
5.3		Aufladung.....	250
	5.3.1	Hintergrund.....	250
	5.3.2	Aufladeprinzip.....	251
	5.3.3	Konstruktiver Aufbau.....	254
	5.3.4	Kopplung von Motor und Verdichter.....	255
	5.3.5	Regelung.....	255
	5.3.6	Motorkomponenten im unmittelbaren Zusammenhang zur Aufladung.....	257
	5.3.7	Sonstige Regelungssysteme.....	258
	5.3.8	Ausblick.....	259
5.4		Triebstrang.....	259
	5.4.1	Überblick.....	259
	5.4.1.1	Einleitung.....	259
	5.4.1.2	Aufgaben des Getriebes.....	260
	5.4.1.3	Aufbau und Elemente des Triebstrangs.....	261
	5.4.1.4	Achsantrieb.....	261
	5.4.1.5	Differenzialgetriebe.....	261
	5.4.1.6	Allrad-Verteilergetriebe.....	262
	5.4.1.7	Gelenkwellen.....	262
	5.4.1.8	Schwingungssystem.....	263
	5.4.2	Anfahrelemente.....	263
	5.4.2.1	Kupplungen.....	263
	5.4.2.2	Hydrodynamische Drehmomentwandler.....	266
	5.4.3	Das Handschaltgetriebe-System.....	269
	5.4.3.1	Funktion und Aufbau.....	269
	5.4.3.2	Verzahnung.....	270
	5.4.3.3	Synchronisierung.....	270
	5.4.3.4	Weitere Getriebekomponenten.....	271
	5.4.3.5	Getriebeschaltung.....	271
	5.4.3.6	Ausführungsbeispiele.....	272
	5.4.3.7	Automatisierte Schaltgetriebe.....	272
	5.4.4	Stufenautomatgetriebe.....	273
	5.4.4.1	Funktionsweise.....	273
	5.4.4.2	Aufbau.....	274
	5.4.4.3	Baugruppen.....	276
	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.....	283
	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.....	288
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.....	295
5.5.1.5	Getriebeabtriebe.....	302
5.5.1.6	Systemauswahl.....	304
5.5.1.7	Einfluss auf Crashverhalten.....	305
5.5.1.8	Geräusch- und Schwingungstechnik Noise-Vibration-Harshness (NVH).....	305
5.5.1.9	Dimensionierung.....	305
5.5.1.10	Allradantrieb und Regelsysteme.....	306
5.5.2	Antriebs- und Bremsregelung.....	306
5.5.2.1	Unfallvorbeugende Sicherheit.....	306
5.5.2.2	Traktionssysteme.....	306
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.....	308
5.5.2.3.3	Elektronisches Bremsen Management EBM.....	310
5.5.2.3.4	EBMx für Allradfahrzeuge.....	310
5.5.2.3.5	Weiterentwicklung.....	311
5.5.2.4	DSC, ESP mit Fremdkraft-Bremsanlage.....	311
5.5.2.5	Bremsysteme für Fahrzeuge mit Hybridantrieb.....	312
5.5.2.6	Sensorik.....	312
5.5.2.6.1	Raddrehzahlfühler.....	312
5.5.2.6.2	Fahrdynamiksensorik.....	312
5.6	Abgasanlagen.....	313
5.6.1	Aufgaben der Abgasanlage.....	313
5.6.2	Katalysatoren.....	315
5.6.3	Partikelfilter.....	315
5.6.4	Canning und Monolith-Lagerung.....	316
5.6.5	Schalldämpfer.....	318
5.6.6	Akustische Abstimmung.....	319
5.6.7	Körperschall.....	320
5.7	Bordenergie-Management.....	321
5.7.1	Ausgangssituation.....	321
5.7.2	Steigender elektrischer Energiebedarf.....	321
5.7.2.1	Elektrische Servolenkung.....	321
5.7.2.2	Generator mit Schnittstellenregler.....	321
5.7.3	Randbedingungen der elektrischen Energieerzeugung.....	322
5.7.3.1	Stopp-Start-Funktion.....	322
5.7.3.2	Maßnahmen zur Steigerung der elektrischen Leistungserzeugung.....	322
5.7.4	Auswirkungen auf Speichersysteme.....	322
5.7.5	Elektrisches Energiemanagement EEM.....	323
5.7.5.1	Funktionen des EEM.....	322
5.7.5.1.1	Ruhestrommanagement.....	323
5.7.5.1.2	Fahrbetrieb/Dynamisches Energiemanagement.....	324
5.7.5.1.3	Diagnose und Anzeige.....	324
5.7.5.1.4	Zusatzfunktionen.....	324
5.7.5.2	Batteriezustandserkennung/Batteriemanagement.....	325
5.7.5.3	Batteriesensor EBS.....	325
5.7.6	Klauenpolgenerator.....	326

	5.7.6.1	Elektrische Energiespeicher	326
	5.7.6.2	Leistungs-Gradverhalten.....	327
	5.7.6.3	Spannungsregelung.....	327
	5.7.7	Elektrische Energiespeicher	329
	5.7.7.1	Kenngrößen elektrischer Energiespeicher	329
	5.7.7.2	Betriebsverhalten von Bleibatterien	330
5.8		Chancen und Risiken des Zweitaktmotors.....	331
	5.8.1	Das Zweitaktverfahren	331
	5.8.2	Das verwendete Konzept.....	332
	5.8.3	Die Entwicklungsschwerpunkte	333
	5.8.3.1	Abgasverhalten	333
	5.8.3.2	Geräuschverhalten	333
	5.8.3.3	Kraftstoffverbrauch	333
	5.8.3.4	Mechanische Standfestigkeit	334
	5.8.3.5	Package/Gewicht	335
	5.8.3.6	Kosten.....	336
	5.8.4	Zusammenfassung und Bewertung.....	336
5.9		Konventionelle und alternative Kraftstoffe	337
	5.9.1	Energie und Mobilität.....	337
	5.9.1.1	Energieträger und Energiespeicher.....	337
	5.9.1.2	Kraftstoffe und ihre Primärenergie.....	338
	5.9.2	Anforderungen an Kraftstoffe	338
	5.9.2.1	Wandel der Anforderungen	338
	5.9.2.2	Endliche Ressourcen fossiler Kraftstoffe	339
	5.9.2.3	Umwelt- und Klimaschutz.....	339
	5.9.2.4	Kraftstoffe als Teil des Energiesystems	340
	5.9.3	Fossile Kraftstoffe	341
	5.9.3.1	Benzin und Diesel.....	341
	5.9.3.2	Synthetische Kraftstoffe (SynFuel)	341
	5.9.3.3	Erdgas (Methan)	342
	5.9.3.4	LPG (Autogas).....	342
	5.9.4	Biokraftstoffe.....	342
	5.9.4.1	Synthetische Kraftstoffe aus Biomasse	342
	5.9.4.2	PME, RME	343
	5.9.4.3	Alkohole (Ethanol, Methanol).....	344
	5.9.4.4	DME	344
	5.9.5	Wasserstoff.....	344
	5.9.5.1	Stoffliche Eigenschaften, Herstellung, Potenziale	344
	5.9.5.2	Antriebskonzepte für Wasserstoff	345
	5.9.5.3	Wasserstoffspeichersysteme	345
	5.9.6	Herausforderungen für alternative Kraftstoffe	346
6		Aufbau.....	349
	6.1	Karosseriebauweisen.....	349
	6.1.1	Selbsttragende Karosserie.....	349
	6.1.1.1	Entwicklungsanforderungen	349
	6.1.1.2	Außenhaut.....	349
	6.1.1.2.1	Design.....	349
	6.1.1.2.2	Aerodynamik und Aeroakustik	350
	6.1.1.3	Package.....	351
	6.1.1.4	Karosseriestruktur.....	352
	6.1.1.4.1	Unterboden.....	352
	6.1.1.4.2	Aufbau.....	354
	6.1.1.4.3	Zusammenbau Seitenwand.....	354
	6.1.1.4.4	Dach	355
	6.1.1.4.5	Anbauteile	355
	6.1.1.4.6	Verbindungstechnik	356
	6.1.1.4.7	Materialauswahl und Leichtbau	356

	6.1.1.4.8	Sicken und Verprägungen	358
	6.1.1.5	Karosserieeigenschaften	358
	6.1.1.5.1	Zusammenbautoleranzen	358
	6.1.1.5.2	Karosseriesteifigkeiten	358
	6.1.1.5.3	Aufprallverhalten	359
	6.1.1.6	Ausblick	359
6.1.2		Space-Frame	360
	6.1.2.1	Einleitung	360
	6.1.2.2	AUDI-Space-Frame	360
	6.1.2.3	Das Karosseriekonzept des ASF*	361
	6.1.2.4	Der Aufbau der ASF Karosserie A8	362
	6.1.2.5	Werkstoffe und Fertigungstechnologien	363
	6.1.2.5.1	Blechteile und Verfahren	363
	6.1.2.5.2	Strangpressprofile und Verfahren	364
	6.1.2.5.3	Gussteile und Verfahren	365
	6.1.2.6	Fügeverfahren	365
	6.1.2.6.1	MIG-Schweißen mit Impulslichtbogen	365
	6.1.2.6.2	Stanznieten mit Halbhohniet	366
	6.1.2.6.3	Laserstrahl-Schweißen	366
	6.1.2.6.4	Laserstrahl-MIG-Hybridschweißen	366
	6.1.2.6.5	Rollfalzen + Kleben	367
	6.1.2.7	Reparaturkonzept	367
	6.1.2.8	Energiebilanz	368
6.1.3		Karosserie Stahlleichtbau-Studien	369
	6.1.3.1	Einleitung	369
	6.1.3.2	Zielsetzung	369
	6.1.3.3	Umsetzung	370
	6.1.3.3.1	Werkstoffleichtbau	370
	6.1.3.4	Fertigungsleichtbau	371
	6.1.3.4.1	Innenhochdruckumformung (IHU)	371
	6.1.3.4.2	Laserschweißen	371
	6.1.3.4.3	Tailored blanks/Tailored tubes	372
	6.1.3.4.4	Formleichtbau	372
	6.1.3.5	Wirtschaftlichkeit	373
	6.1.3.6	Ergebnis	373
6.1.4		Cabriolet	374
	6.1.4.1	Einführung	374
	6.1.4.2	Rohbau	374
	6.1.4.2.1	Karosseriesteifigkeit	375
	6.1.4.2.2	Karosserietilger	376
	6.1.4.2.3	Betriebsfeste Auslegung von Cabrioletkarosserien	377
	6.1.4.3	Sicherheitsrelevante Auslegung von Cabriolets	377
	6.1.4.4	Türen	378
	6.1.4.5	Dachsystem	378
	6.1.4.5.1	Faltbares Festdach (Retractable Hardtop)	378
	6.1.4.5.2	Stoffverdeck (Softtop)	378
6.1.5		Frontendmodule	380
	6.1.5.1	Bestandteile von Frontendmodulen	380
	6.1.5.2	Entwicklungs- und Fertigungskompetenz für Frontendmodule	380
	6.1.5.3	Innovationen für Frontendmodule	380
6.2		Materialien der Karosserie	381
	6.2.1	Historischer Rückblick	381
	6.2.2	Konzepte und Bauweisen	381
	6.2.3	Anforderungen und Auslegungskriterien an die Werkstoffe der Karosserie	383
	6.2.4	Typische Karosseriewerkstoffe	386
	6.2.4.1	Stahlwerkstoffe	386
	6.2.4.2	Aluminiumlegierungen	388
	6.2.4.3	Magnesiumlegierungen	389

6.2.4.4	Kunststoffe.....	390
	6.2.4.4.1 Thermoplaste	391
	6.2.4.4.2 Duroplaste	391
6.2.5	Sortenreine Beispiele.....	391
	6.2.5.1 Stahl Seitenrahmen.....	391
	6.2.5.2 Aluminium Seitentür	392
	6.2.5.3 Magnesium Instrumentenafelträger.....	392
	6.2.5.4 Hardtop als Sandwichkonstruktion.....	392
6.2.6	Mischbauweisen	393
	6.2.6.1 Mischbau in der Karosserie	393
	6.2.6.2 Mischbau im Innenraum (Cockpit) und Frontendmodule	394
6.2.7	Materialspezifische Aspekte der Fertigungstechnik.....	396
	6.2.7.1 Tailored products.....	396
	6.2.7.2 Superplastisches Umformen (SPF).....	397
	6.2.7.3 Innenhochdruckumformen (IHU).....	398
	6.2.7.4 Folientechnik als Alternative zur Nasslackierung.....	398
	6.2.7.5 Fügeverfahren	400
6.3	Oberflächenschutz.....	401
6.3.1	Nutzen des Oberflächenschutzes	401
	6.3.1.1 Korrosionsschutz	401
	6.3.1.2 Oberflächenschutz	402
	6.3.1.3 Transportschutz	402
6.3.2	Entwicklung und Produktion des Oberflächenschutzes	402
	6.3.2.1 Blechvorbeschichtung	402
	6.3.2.2 Maßnahmen in der Karosseriekonstruktion.....	402
	6.3.2.3 Maßnahmen in der Produktion	403
	6.3.2.3.1 Kleben und Dichten	403
	6.3.2.3.2 Vorbehandlung	405
	6.3.2.3.3 Elektrotauchlackierung.....	406
	6.3.2.3.4 Grund- und Decklackierung	406
	6.3.2.4 Hohlraumkonservierung und Unterbodenschutz.....	407
	6.3.2.4.1 Hohlraumkonservierung	407
	6.3.2.4.2 Unterbodenschutz	408
	6.3.2.5 Transportschutz	408
6.3.3	Ausblick.....	409
6.4	Fahrzeuginnenraum.....	409
6.4.1	Ergonomie und Komfort.....	409
	6.4.1.1 Ergonomische Anforderungen an das „Gesamtfahrzeug“	410
	6.4.1.2 Ergonomische Grundaussagen.....	412
	6.4.1.3 Entwicklungsmethoden, Einbindung der Ergonomie in den Produktentstehungsprozess.....	416
	6.4.1.4 Neue Entwicklungen zur Mensch-Maschine-Interaktion	418
6.4.2	Kommunikationssysteme und Navigation.....	421
	6.4.2.1 Ziele und Lösungen	421
	6.4.2.2 Autoradio	421
	6.4.2.2.1 RDS (Radio Data System)	423
	6.4.2.2.2 TMC	423
	6.4.2.3 DAB.....	423
	6.4.2.4 DRM (Digital Radio Mondial).....	424
	6.4.2.5 Satellitenradio.....	424
	6.4.2.6 Autotelefon	424
	6.4.2.6.1 UMTS.....	425
	6.4.2.6.2 Handys im Fahrzeug.....	425
	6.4.2.7 Bakenkommunikation.....	425
	6.4.2.8 Navigation	425
	6.4.2.8.1 Digitale Karte	426
	6.4.2.8.2 Dynamische Navigation	427
	6.4.2.8.3 Fahrerinformationssysteme	427

6.4.3	Innenraumbehaglichkeit/Thermischer Komfort	428
6.4.3.1	Komfortbedürfnisse der Fahrzeuginsassen.....	428
6.4.3.2	Funktionen und Aufbau von Klimageräten	429
6.4.3.2.1	Funktionen des Klimagerätes – Luft fördern	429
6.4.3.2.2	Funktionen des Klimagerätes – Luft reinigen	430
6.4.3.2.3	Funktionen des Klimagerätes – Luft temperieren und entfeuchten	431
6.4.3.2.4	Funktionen des Klimagerätes – Luft verteilen	432
6.4.3.2.5	Bauformen von Klimageräten	433
6.4.3.2.6	Mehrzonigkeit und Zusatzgeräte	433
6.4.3.3	Steuerung und Regelung von Klimaanlage.....	434
6.4.3.3.1	Regelung und Automatisierungsgrade	434
6.4.3.3.2	Bedienung	435
6.4.3.3.3	Aktuatorik, Sensorik	435
6.4.4	Fahrzeuginnenausstattung	436
6.4.4.1	Zur Geschichte des Innenraums	436
6.4.4.2	Anforderungen an Innenraum und Komponenten.....	436
6.4.4.2.1	Optik	437
6.4.4.2.2	Olfaktorik	437
6.4.4.2.3	Ergonomie	437
6.4.4.2.4	Haptik	437
6.4.4.2.5	Akustik	438
6.4.4.2.6	Sicherheit	438
6.4.4.2.7	Thermischer Komfort	438
6.4.4.3	Baugruppen des Innenraums	438
6.4.4.3.1	Cockpit/Tunnelkonsole	438
6.4.4.3.2	Sitze	439
6.4.4.3.3	Tür-, Seitenverkleidungen	440
6.4.4.3.4	Dachhimmel, Säulenverkleidung	441
6.4.4.3.5	Gepäckraum/Laderaum	442
6.4.4.3.6	Bodenverkleidung, Akustik	442
6.4.4.4	Entwicklungsablauf Innenraum	442
6.4.4.4.1	Lastenheft	442
6.4.4.4.2	Berechnung/Digital Mockup	443
6.4.4.4.3	Teilekonstruktion	443
6.4.4.4.4	Datenkontrollmodelle	443
6.4.4.4.5	Prototypen/Testing	444
6.4.4.4.6	Serienproduktion/Montage.....	444
6.4.4.4.7	Variantenmanagement	444
6.4.4.5	Ausblick.....	444
6.5	Fahrzeugsicherheit.....	445
6.5.1	Allgemeines.....	445
6.5.2	Gebiete der Fahrzeugsicherheit	446
6.5.3	Daten der Unfallstatistik.....	448
6.5.4	Biomechanik und Schutzkriterien	450
6.5.4.1	Biomechanik.....	450
6.5.4.1.1	Grundlagen	450
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.....	453
6.5.4.3.3	Gesamtkörper	453
6.5.5	Quasistatische Anforderungen an die Karosserie.....	454
6.5.5.1	Sitz- und Sicherheitsgurtverankerungspunkt-Tests	454
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	457
6.5.6.3	Heckkollision.....	458
6.5.6.4	Fahrzeugüberschlag	458
6.5.6.5	Karosserie	458
6.5.7	Insassenschutz	458
6.5.7.1	Fahrzeuginnenraum	458
6.5.7.2	Rückhaltesysteme	459
6.5.7.2.1	Sicherheitsgurte	459
6.5.7.2.2	Kinderrückhaltesysteme	460
6.5.7.2.3	Airbag-Systeme	461
6.5.7.2.4	Sitze, Sitzlehne und Kopfstütze	463
6.5.8	Zusammenwirken von Rückhaltesystemen und Fahrzeug	463
6.5.8.1	Unangegurteter Insasse.....	463
6.5.8.2	Dreipunktgurt.....	464
6.5.8.3	Airbag-Systeme	464
6.5.8.4	Pre-Crash	465
6.5.8.5	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.....	467
6.5.10.1	Allgemeine Aussage	467
6.5.10.2	Pkw/Lkw-Kollision	468
6.5.10.3	Fußgängerkollision	468
6.5.11	Rechnerunterstützung bei der Entwicklung von Sicherheitskomponenten	470
6.5.11.1	Grundlagen	470
6.5.11.2	Beschreibung der numerischen Werkzeuge	470
6.5.11.3	Komponentenberechnung	470
6.5.11.4	Gesamtfahrzeugauslegung.....	472
6.5.11.5	Gesamtmodell.....	472
6.5.11.5.1	Fahrzeugmodell	472
6.5.11.5.2	Insassensimulation	472
6.5.12	Zusammenfassung	473
7	Fahrwerk	475
7.1	Einführung	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	Querndynamik: Fahrwerkskräfte in Querrichtung	477
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	479
7.1.3.2	Längsdynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeuglängsrichtung	479
7.1.3.3	Vertikaldynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeughochrichtung.....	480
7.1.4	Basis-Zielkonflikte	481
7.1.5	Ausblick.....	483
7.2	Bremssysteme	483
7.2.1	Einführung	483
7.2.1.1	Physikalische Grundlagen	484
7.2.1.2	Arten von Bremsanlagen	485
7.2.1.3	Bremsenauslegung.....	487
7.2.2	Bremssystemkomponenten	489
7.2.2.1	Bremspedal	489
7.2.2.2	Bremskraftverstärker	489
7.2.2.3	Vakuumpumpe.....	492
7.2.2.4	(Tandem)-Hauptzylinder	492
7.2.2.5	Ausgleichbehälter	494

7.2.2.6	Bremsflüssigkeit	494
7.2.2.7	Bremsleitungen und -schläuche	494
7.2.2.8	Bremskraftverteiler	495
7.2.2.9	Hydraulisch/Elektronische Regeleinheit (HECU)	496
7.2.2.10	Scheibenbremsen	497
7.2.2.11	Bremsscheiben	501
7.2.2.12	Bremsbeläge	503
7.2.2.13	Trommelbremsen	503
7.2.3	Sensoren	505
7.2.3.1	Betätigungswegsensor	505
7.2.3.2	Raddrehzahlsensor	505
7.2.3.3	Beschleunigungssensor (längs und quer)	506
7.2.3.4	Gierratensensor	507
7.2.3.5	Lenkradwinkelsensor	507
7.2.3.6	Drucksensor	507
7.2.3.7	Abstandssensoren	507
7.2.4	Bremsenfunktionen und Assistenzsysteme	508
7.2.4.1	Antiblockiersystem (ABS)	508
7.2.4.2	Elektronische Bremskraftverteilung (EBV)	513
7.2.4.3	Erweitertes Stabilitäts-Bremssystem (ABSplus)	513
7.2.4.4	Antriebsschlupfregelung (ASR)	513
7.2.4.5	Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP/DSC/VSC)	514
7.2.4.6	Bremsassistent (MBA, EBA, HBA)	515
7.2.4.7	Bremskraftverstärkerunterstützung	516
7.2.4.8	Active Rollover Protection (ARP)	516
7.2.4.9	Adaptive Cruise Control (ACC)	517
7.2.4.10	Fremdkraftbetätigte Parkbremse (Elektrische Parkbremse)	517
7.2.5	Neue und zukünftige Systemarchitekturen	517
7.2.5.1	Elektrohydraulisches Bremssystem (EHB)	517
7.2.5.2	Regeneratives Bremsen	519
7.2.5.3	Elektro-Hydraulische Combi Bremse (EHC)	519
7.2.5.4	Vernetztes Chassis	520
7.2.5.5	Elektromechanisches Bremssystem (EMB)	521
7.2.5.6	Ausblick	523
7.3	Reifen, Räder und Gleitschutzketten	524
7.3.1	Einführung	524
7.3.2	Reifenaufbau	524
7.3.3	Anforderungen an Reifen	525
7.3.3.1	Gebrauchseigenschaften	526
7.3.3.2	Gesetzliche Anforderungen	529
7.3.3.3	Reifen und Räder, Normung	529
7.3.4	Kraftübertragung Reifen Fahrbahn	529
7.3.4.1	Tragverhalten	529
7.3.4.2	Kraftschlussverhalten, Aufbau von Horizontalkräften	529
7.3.4.3	Antreiben und Bremsen; Umfangskräfte	560
7.3.4.4	Schräglauf; Kräfte und Momente	532
7.3.4.5	Reifen unter Quer- und Längsschlupf	533
7.3.4.6	Reifengleichförmigkeit	534
7.3.5	Reifen als integraler Baustein des Gesamtsystems Fahrzeug	534
7.3.5.1	Reifenmechanik, Materialeigenschaften	534
7.3.5.2	Reifenmodelle	536
7.3.5.3	Gesamtmodelle	536
7.3.5.4	Beschreibung des Fahrverhaltens	537
7.3.5.5	Synergien zwischen Reifen und anderen Systemkomponenten	537
7.3.6	Zukünftige Reifentechnologien	537
7.3.6.1	Reifensysteme mit Notlaufeigenschaften	537
7.3.6.2	Reifenbezogene Zusatzprodukte	538
7.3.6.3	Reifendruckkontrolle	538

	7.3.6.4	Auf Reifen abgestimmte Komponenten im Fahrwerk.....	538
	7.3.6.5	Materialentwicklung.....	538
	7.3.6.6	Reifen mit erweiterten Funktionen.....	539
7.3.7		Räder.....	540
	7.3.7.1	Einführung/Historie.....	540
	7.3.7.2	Normung/Terminologie.....	540
	7.3.7.3	Wesentliche Herstellverfahren.....	541
	7.3.7.4	Serieneinsatz (Marktanteile heute und in Zukunft).....	541
	7.3.7.5	Entwicklungs-Methodik.....	541
	7.3.7.5.1	CAD Konstruktion.....	541
	7.3.7.5.2	Finite Elemente Analyse.....	541
	7.3.7.5.3	Prüfstandserprobung.....	542
	7.3.7.5.4	Fahrerprobung im Rahmen der Fahrzeugentwicklung (Dauerläufer).....	544
	7.3.7.5.5	Entwicklungstendenzen zur Methodik.....	544
	7.3.7.6	Fertigungsverfahren – Weiterentwicklung.....	544
	7.3.7.6.1	Stahlrad.....	544
	7.3.7.6.2	Leichtmetallrad.....	545
	7.3.7.6.3	Kunststoff-Rad (Composite-Rad).....	546
	7.3.7.7	Gewichtsrelationen.....	546
	7.3.7.8	Größenrelationen.....	547
	7.3.7.9	Rad/Reifen – Besondere Aspekte.....	547
	7.3.7.10	Energiebetrachtung bei Herstellung/Recycling.....	547
	7.3.7.11	Umweltschonung.....	547
7.3.8		Gleitschutzketten.....	548
	7.3.8.1	Einleitung.....	548
	7.3.8.2	Wirkungsprinzip von Gleitschutzketten.....	548
	7.3.8.3	Aufbau von Gleitschutzketten.....	548
	7.3.8.3.1	Laufnetzformen.....	548
	7.3.8.3.2	Greifelemente.....	548
	7.3.8.3.3	Dimensionierung.....	549
	7.3.8.4	Kraftübertragung Kette – Fahrbahn.....	549
	7.3.8.5	Montagesysteme.....	550
7.4		Fahrwerkauslegung.....	551
	7.4.1	Kinematik der Radaufhängung.....	551
	7.4.1.1	Radhubkinematik.....	551
	7.4.1.2	Lenkkinematik.....	553
	7.4.2	Elastokinematik.....	554
	7.4.2.1	Wirkung von Bauteilelastizitäten.....	554
	7.4.2.2	Elastomerlager.....	555
	7.4.2.3	Wirkung äußerer Kräfte.....	560
	7.4.3	Radaufhängungen.....	564
	7.4.3.1	Starrachsen.....	565
	7.4.3.2	Einzelradaufhängungen.....	565
	7.4.3.3	Verbundachsen.....	568
	7.4.4	Federung, Dämpfung, Stabilisatoren.....	568
	7.4.4.1	Tragfeder.....	569
	7.4.4.2	Stabilisierung.....	571
	7.4.4.3	Schwingungsdämpfung.....	572
	7.4.4.4	Vertikaldynamiksysteme.....	574
	7.4.4.5	Ausblick.....	578
	7.4.5	Lenkung.....	580
	7.4.5.1	Lenkungs kinematik.....	580
	7.4.5.2	Lenkgetriebe und -gestänge.....	588
	7.4.5.3	Lenkunterstützung.....	590
	7.4.6	Aktive Lenksysteme.....	595
	7.4.6.1	Einleitung.....	595
	7.4.6.2	Aktive Vorderradlenkungen.....	595
	7.4.6.2.1	Aktive Servolenkungen.....	596

	7.4.6.2.2	Lenkungen mit aktiv veränderlichen Übersetzungen.....	596
	7.4.6.2.3	Überlagerungslenkungen.....	597
	7.4.6.2.4	Integration von Überlagerungslenkung und geregelter Servolenkung	599
	7.4.6.2.5	„Steer by wire“-Lenksysteme.....	600
	7.4.6.3	Aktive Hinterradlenkungen.....	601
	7.4.6.3.1	Hinterradlenkungen ohne fahrdynamische Regelung.....	601
	7.4.6.3.2	Hinterradlenkungen mit fahrdynamischer Regelung.....	603
7.5		Beurteilungskriterien.....	605
	7.5.1	Subjektive Fahreigenschaftsbeurteilung.....	605
	7.5.2	Objektive Fahreigenschaftsbeurteilung.....	606
	7.5.2.1	Geradausfahrt.....	607
	7.5.2.2	Kurvenverhalten.....	608
	7.5.2.3	Übergangsverhalten.....	610
	7.5.2.4	Weitere Testverfahren.....	610
	7.5.2.5	Ausblick.....	611
7.6		Kraftstoffsystem.....	612
	7.6.1	Gesetzliche und kundenspezifische Vorschriften.....	612
	7.6.1.1	Gesetzliche Vorschriften.....	612
	7.6.1.2	Kundenspezifische Anforderungen.....	614
	7.6.2	Anordnung im Fahrzeug.....	614
	7.6.3	Systemvarianten.....	615
	7.6.3.1	Externes Ausgleichsvolumen.....	615
	7.6.3.2	Internes Ausgleichsvolumen.....	615
	7.6.3.3	Auslegungskriterien.....	615
	7.6.4	Kraftstoff-Behälter.....	616
	7.6.4.1	Metall-Kraftstoff-Behälter.....	616
	7.6.4.2	Kunststoff-Kraftstoff-Behälter.....	616
	7.6.5	Fördersysteme.....	617
	7.6.5.1	Förderung des Kraftstoffs.....	617
	7.6.5.2	Elektro-Kraftstoff-Pumpe (EKP) und deren Anordnung.....	617
	7.6.5.3	Pumpenanordnungen.....	618
	7.6.5.4	Anforderungen zur elektrischen/elektronischen Systemeinbindung.....	618
	7.6.5.5	Elektro-Kraftstoff-Pumpen-Regelung.....	618
	7.6.5.6	Saugstrahlpumpe.....	618
	7.6.5.7	Schwalltopf.....	619
	7.6.6	Filtrierung des Kraftstoffs.....	619
	7.6.7	Volumen-Messeinrichtung.....	619
	7.6.7.1	Hebelgeber.....	620
	7.6.7.2	Tauchrohrgeber.....	620
	7.6.8	Aktivkohlefilter (AKF).....	620
	7.6.9	Ausblick.....	620
7.7		Kraftstoffversorgungsanlagen für alternative Energieträger.....	621
	7.7.1	Anforderungen.....	621
	7.7.2	Gesetzliche Vorschriften.....	622
	7.7.3	Anordnung im Fahrzeug.....	623
	7.7.4	Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für Druckgas.....	623
	7.7.4.1	Kraftstoffbehälter.....	623
	7.7.4.2	Kraftstoffsysteme.....	623
	7.7.5	Kraftstoffbehälter und Kraftstoffsysteme für tiefkalt flüssige Gase.....	624
	7.7.5.1	Kraftstoffbehälter.....	624
	7.7.5.2	Kraftstoffsysteme.....	625
	7.7.6	Entwicklungstendenzen.....	626
8		Elektrik/Elektronik/Software.....	628
	8.1	Bedeutung Elektrik/Elektronik/Software für das Automobil.....	628
	8.1.1	Einleitung.....	628
	8.1.2	Neue Anforderungen an Entwicklungsprozess und Technologie.....	630
	8.1.3	Systems Engineering.....	630

	8.1.3.1	Eigenschaften des Entwicklungsprozesses.....	631
	8.1.3.2	Systemintegration	633
	8.1.4	Neues Technologiekonzept: AUTOSAR.....	635
	8.1.5	Ausblick.....	637
8.2		Das Bordnetz.....	638
	8.2.1	Bestandteile des Bordnetzes	638
	8.2.1.1	Übersicht	638
	8.2.1.2	Fahrzeugpackage	639
	8.2.1.3	Leitungen.....	639
	8.2.1.4	Knotenpunkte	640
	8.2.1.5	Sicherungen	640
	8.2.2	Auslegungskriterien	641
	8.2.2.1	Bestandteile einer qualitätsorientierten Bordnetzauslegung	641
	8.2.2.2	Leistungsstrangfertigung.....	645
	8.2.2.3	Modularität	646
	8.2.2.4	Logistik und Fahrzeugmontage	648
	8.2.3	Architektur des Bordnetzes.....	649
	8.2.3.1	Topologie, Koppel- und Trennstellen	649
	8.2.3.2	Ausstattungsvarianten	649
	8.2.3.3	Systemarchitekturen	650
	8.2.3.4	Energieversorgung und Absicherung	651
	8.2.4	Der Bordnetz-Entwicklungsprozess.....	654
	8.2.4.1	Abläufe	654
	8.2.4.2	Lieferantenstruktur	655
	8.2.4.3	CAD-Werkzeuge	656
	8.2.5	Entwicklungstrends.....	658
	8.2.5.1	Übersicht	658
	8.2.5.2	Flachleiter.....	658
8.3		Kommunikationsbordnetze.....	660
	8.3.1	Einleitung	660
	8.3.2	Kabelgebundene Bordnetze.....	660
	8.3.2.1	Elektrische Kommunikationsbordnetze.....	661
	8.3.2.2	Optische Kommunikationsbordnetze	662
	8.3.3	Drahtlose Kommunikationsbordnetze	663
	8.3.4	Zusammenfassung und Ausblick.....	666
8.4		Elektromagnetische Verträglichkeit – EMV.....	666
	8.4.1	Eigenentstörung.....	667
	8.4.2	Störfestigkeit gegen externe elektromagnetische Felder.....	667
	8.4.3	Fernentstörung.....	668
	8.4.4	Normen und Richtlinien	669
	8.4.5	Sicherstellung der EMV	669
8.5		Funktionsdomänen.....	669
	8.5.1	Einleitung	669
	8.5.2	Beleuchtung.....	669
	8.5.2.1	Zulassung.....	669
	8.5.2.2	Lichttechnische Begriffe.....	670
	8.5.2.3	Scheinwerfer.....	670
	8.5.2.3.1	Historische Entwicklung	670
	8.5.2.3.2	Scheinwerferarten.....	671
	8.5.2.3.3	Reflektortechnologie	671
	8.5.2.3.4	Abschlusscheibe	672
	8.5.2.3.5	Scheinwerfer-Einstellung	673
	8.5.2.3.6	Scheinwerfer-Lichtquellen	673
	8.5.2.3.7	Xenonlicht	674
	8.5.2.4	BiXenon.....	676
	8.5.2.5	Lichtbewertung.....	676
	8.5.2.6	Tagfahrlicht und Positionslight.....	677
	8.5.2.7	Zusatzscheinwerfer.....	677

8.5.2.8	Intelligente Scheinwerfer.....	677
8.5.2.9	Scheinwerfer-Zukunftsentwicklungen.....	678
8.5.2.10	Signalleuchten	679
8.5.2.11	Lichtquellen für Signalleuchten.....	681
8.5.2.12	Bauformen	681
8.5.2.13	Dynamisches Bremslicht und Leuchten-Zukunftsentwicklungen.....	681
8.5.2.14	Innenbeleuchtung und Einstiegsleuchten	681
8.5.2.15	Beleuchtungsstyling.....	682
8.5.3	Cockpit-Instrumentierung.....	682
8.5.3.1	Einleitung.....	682
8.5.3.2	Informationsdarstellung.....	683
8.5.3.2.1	Kombinations-Instrument.....	683
8.5.3.2.2	LC-Displays im Kombinations-Instrument.....	684
8.5.3.2.3	Weitere Display-Arten im Cockpit	684
8.5.3.2.4	Head-up-Display (HUD).....	684
8.5.3.3	Eingabelemente.....	685
8.5.3.4	Ausblick.....	685
8.5.4	Infotainment/Multimedia.....	685
8.5.4.1	Übertragungssysteme.....	685
8.5.4.1.1	AM/FM	685
8.5.4.1.2	Digital Radio	686
8.5.4.1.3	Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T).....	686
8.5.4.1.4	Bluetooth	686
8.5.4.2	Human Machine Interface-Konzepte.....	687
8.5.4.2.1	Spracherkennung.....	687
8.5.4.2.2	Freisprechen als Anwendung von Bluetooth und Spracherkennung.....	688
8.5.4.3	Ausblick.....	690
8.5.4.4	Fahrzeugantennen.....	690
8.5.5	Fahrerassistenzsysteme.....	694
8.5.5.1	Unfallursachen und Fahrerassistenzsysteme zu ihrer Vermeidung.....	694
8.5.5.2	Fahrerassistenz.....	695
8.5.5.3	Fahrzeugkommunikationssysteme.....	695
8.5.5.4	Fahrerassistenzsysteme zur Fahrzeugstabilisierung.....	696
8.5.5.5	Prädiktive Fahrerassistenzsysteme	696
8.5.5.5.1	Sensoren für Fahrerassistenzsysteme	696
8.5.5.5.2	Ultranahbereichssensoren in Ultraschalltechnik	696
8.5.5.5.3	Fernbereichsradar 77 GHz	697
8.5.5.5.4	Fernbereichslidar.....	697
8.5.5.5.5	Nahbereichssensoren.....	697
8.5.5.5.6	Video Sensor	698
8.5.5.6	Fahrerassistenzsysteme für Komfort und Sicherheit.....	698
8.5.5.6.1	Adaptive Cruise Control (ACC).....	698
8.5.5.6.2	Prädiktive Sicherheitssysteme (Predictive Safety Systems, PPS).....	699
8.5.5.6.3	Video Systeme.....	700
8.5.5.6.4	Nachtsichtsysteme.....	701
8.5.5.6.5	Spurverlassenswarner/Spurwechsellassistent.....	703
8.5.5.7	Ausblick.....	703
8.5.6	Telematik.....	705
8.5.6.1	Grundlagen und Technologien der Verkehrstelematik	706
8.5.6.2	Endgeräte.....	707
8.5.6.3	Dienstleistungen der Zukunft	708
8.6	Mensch-Maschine-Interaktion	709
8.6.1	Das System Fahrer–Fahrzeug.....	710
8.6.2	Informationsvermittlung.....	712
8.6.3	Ein einfaches kognitives Fahrermodell	712
8.6.4	Messung der Leistung, Belastung und Beanspruchung.....	714
8.6.5	Simulation.....	714
8.7	Software.....	716

8.7.1	Vorbemerkungen zum Thema Software.....	716
8.7.2	Softwareentwicklungsprozess	716
8.7.2.1	Einbettung in den Systementwicklungsprozess.....	717
8.7.2.2	Anforderungsanalyse und -spezifikation	717
8.7.2.3	Design und Architektur	718
8.7.2.4	Implementierung und Modultest	718
8.7.2.5	Integration.....	718
8.7.2.6	Validierung und Verifikation.....	718
8.7.2.7	Produktion und Wartung	718
8.7.3	Erfolgsfaktoren.....	719
8.7.3.1	Modellbildung	719
8.7.3.2	MMI.....	719
8.7.3.3	Qualitätssicherung	720
8.7.4	Entkopplung von Infrastruktur und Plattformen	720
8.7.5	Produktlinien	720
8.7.6	Anwendungsfelder.....	721
8.7.6.1	Fahrerassistenzsysteme.....	721
8.7.6.2	Infotainment.....	721
8.7.6.3	Karosserie- und Komfortfunktionen.....	722
8.7.6.4	Sicherheitsfunktionen	722
8.7.7	Technische Herausforderungen zur Software im Fahrzeug	722
8.7.7.1	Zuverlässigkeit.....	722
8.7.7.2	Wartung und Logistik	722
8.7.7.3	Vernetzung.....	723
8.7.7.4	Multiplexing, Zeitbeherrschung und Determinismus.....	723
8.7.7.5	IT-Security.....	723
8.7.8	Potenzial	724
8.7.9	Organisatorische Herausforderungen	724
8.7.9.1	Prozesse.....	724
8.7.9.2	Impakt und langfristige Perspektiven	725
8.8	Moderne Methoden der Regelungstechnik	725
8.8.1	Anforderungen an Regelsysteme im Kraftfahrzeug	726
8.8.2	Moderne Reglerentwurfverfahren.....	726
8.8.2.1	Adaptive Regelung	726
8.8.2.2	Fuzzy-Regelung.....	727
8.8.2.3	F-Synthese	727
8.8.2.4	Neuronale Regelung	728
8.8.2.5	Norm-optimale Regelung	728
8.8.2.6	Prädiktive Regelung	728
8.8.2.7	Quantitative Feedback Theory (QFT)	729
8.8.3	Evaluierung moderner Regelungsverfahren	729
8.8.4	Ausblick.....	730
9	Werkstoffe und Fertigungsverfahren	732
9.1	Ein Blick zurück	732
9.2	Werkstoffe moderner Kraftfahrzeuge.....	734
9.2.1	Materialanteile im Automobilbau.....	734
9.2.2	Fortschritte in den Leistungsmerkmalen	736
9.2.2.1	Festigkeit und Verarbeitung	736
9.2.2.1.1	Stahlwerkstoffe.....	736
9.2.2.1.2	Leichtmetalle	741
9.2.2.1.3	Edelmetalle	748
9.2.2.1.4	Kunststoffe	749
9.2.2.1.5	Verglasung	753
9.2.2.2	Verschleißschutz.....	754
9.2.2.3	Korrosionsschutz	756
9.2.3	Fortschritte in der Fügetechnik.....	758
9.2.3.1	Schweißen und Löten	758

	9.2.3.2	Mechanische Fügeverfahren.....	759
	9.2.3.3	Kleben.....	761
9.2.4		Fortschritte in der Um- und Umformung.....	762
	9.2.4.1	Metalle.....	762
	9.2.4.1.1	Innenhochdruckumformen.....	762
	9.2.4.1.2	Hydromechanisches Umformen.....	763
	9.2.4.1.3	Zwei-Platinen-Innenhochdruckumformen.....	764
	9.2.4.1.4	Kaltfließpressen.....	765
	9.2.4.1.5	Gießtechnik.....	765
	9.2.4.1.6	Schmieden.....	767
	9.2.4.2	Polymere.....	767
9.2.5		Fortschritte in der Umweltverträglichkeit.....	770
9.2.6		Nanotechnologie (im Automobil).....	775
9.3		Wettbewerb der Werkstoffe.....	781
9.4		Wälzlager im Fahrzeugbau.....	783
	9.4.1	Einleitung.....	783
	9.4.2	Konstruktions- und Berechnungsgrundlagen für die Gestaltung von Kfz-Wälzlagerungen.....	784
	9.4.2.1	Berechnungsgrundlagen und Methoden.....	784
	9.4.2.2	Berechnung und Integration von Zusatzfunktionen in ein Radlager.....	785
	9.4.2.3	Neuentwicklungen in der Kfz-Wälzlagertechnik am Beispiel eines Achsgetriebes, ein Beitrag zu geringerem Kraftstoffverbrauch.....	786
	9.4.2.4	Verifizierung der Konstruktions- und Berechnungsmethoden durch Prüfmethoden.....	787
	9.4.3	Funktion von Schmierung und Schmierstoffen für die Wälzlager im Kraftfahrzeug.....	787
	9.4.4	Zusammenfassung, Entwicklungspotenziale.....	788
10		Produktentstehungsprozess.....	790
10.1		Simultaneous Engineering und Projektmanagement im Produktentstehungsprozess.....	790
	10.1.1	Einleitung.....	790
	10.1.2	Produktentstehungsprozess.....	790
	10.1.2.1	Organisationsformen.....	790
	10.1.2.2	Projektorganisation im VW-Konzern.....	792
	10.1.2.3	PEP-Ablauf und Meilenstein-Definition.....	793
	10.1.3	Produktplanung.....	794
	10.1.4	Innovationsmanagement.....	795
	10.1.5	Produktinhalte, Lastenhefte, Gesetze.....	796
	10.1.6	Konzeptentwicklung.....	797
	10.1.7	Produkt Daten Management (PDM).....	798
	10.1.8	Product Lifecycle Management (PLM).....	799
	10.1.9	Serienentwicklung.....	800
	10.1.9.1	Strak.....	800
	10.1.9.2	Datenkontrollprozess.....	800
	10.1.9.3	Planungsfreigabe.....	800
	10.1.9.4	Virtuelle Entwicklung.....	801
	10.1.9.5	Fahrzeugerprobung.....	802
	10.1.9.6	Änderungsmanagement und Launch-Freigabe.....	804
	10.1.9.7	Meisterbock.....	804
	10.1.9.8	Breitenabsicherung.....	804
	10.1.10	Serienbetreuung.....	804
	10.1.11	Ausblick.....	804
10.2		Fahrzeugkonzeption in der frühen Entwicklungsphase.....	805
	10.2.1	Einführung.....	805
	10.2.1.1	Definition.....	805
	10.2.1.2	Zielsetzung der frühen Entwicklungsphase.....	805
	10.2.1.3	Fahrzeugkonzeptinhalte der frühen Phase.....	806
	10.2.2	Vorgehensweise.....	806
	10.2.2.1	Prozess.....	806
	10.2.2.2	Digitaler Prototyp.....	806

	10.2.2.3	Tools	807
10.2.3	Beispiele		808
	10.2.3.1	Fahrdynamik	808
	10.2.3.2	Passive Sicherheit – Betriebsfestigkeit	808
	10.2.3.3	Aerodynamik	809
	10.2.3.4	Fahrleistung und Verbrauch	809
10.2.4	Ausblick		809
10.3	Berechnung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung		809
10.3.1	Einleitung		809
10.3.2	CAE-Prozess und notwendige Infrastruktur in der Produktentstehung		810
	10.3.2.1	CAE-Einsatz in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen	811
	10.3.2.2	CAE-Organisation im Unternehmen	812
	10.3.2.3	Computer Ressourcen für CAE	812
10.3.3	Anwendungsgebiete und Methoden		813
	10.3.3.1	Finite Element-Methoden	813
	10.3.3.2	Mehrkörpersystem-Methoden	818
	10.3.3.3	Strömungssimulation	819
	10.3.3.4	Elektromagnetische Verträglichkeit	823
10.3.4	Simulation von Bauteil-Herstellprozessen		824
	10.3.4.1	Umformsimulation	824
	10.3.4.2	Gießsimulation	824
	10.3.4.3	Schweißsimulation	825
	10.3.4.4	Lackiersimulation	825
10.3.5	Optimierung		825
	10.3.5.1	Struktur-Optimierung	826
	10.3.5.2	Multidimensionale Optimierung	827
	10.3.5.3	Stochastische Simulationen	827
10.4	Mess- und Versuchstechnik		828
10.4.1	Kurzer Rückblick		828
10.4.2	Grundsätzliches zur Mess- und Versuchstechnik im Automobilbau		829
10.4.3	Einige ausgewählte Beispiele		832
10.4.4	Zur Effizienz der Mess- und Versuchstechnik		835
10.5	Qualitätsmanagement		837
10.6	Betrieb und Instandhaltung von Kraftfahrzeugen		840
10.6.1	Einführung		840
	10.6.1.1	Definitionen	841
	10.6.1.2	Entwicklungstendenzen	841
10.6.2	Instandhaltbarkeit und Zuverlässigkeit		842
	10.6.2.1	Zuverlässigkeitskenngrößen	842
	10.6.2.2	Weibullverteilung	842
	10.6.2.3	Anwendung von Zuverlässigkeitskenngrößen	843
10.6.3	Lebenslaufkosten		844
	10.6.3.1	Anschaffungskosten	845
	10.6.3.2	Gesetzgeber abhängige Kosten	845
	10.6.3.3	Versicherungskosten	845
	10.6.3.4	Betriebskosten	845
	10.6.3.5	Werkstattkosten	845
10.6.4	Organisation des Service-Prozesses in den Werkstätten		846
10.6.5	Instandhaltungsgerechte Konstruktion		847
	10.6.5.1	Ziele und Anforderungen zur Instandhaltbarkeit	847
	10.6.5.2	Werkstattkostenfaktor Zeit (Instandhaltungszeit, Planzeiten)	847
	10.6.5.3	Kostenfaktor Werkstattausrüstung, Spezialwerkzeuge	849
	10.6.5.4	Ersatzteile, Zerlegungstiefe, Transport-, Lagerfähigkeit und Lieferzeitraum	849
	10.6.5.5	Nachweis der Instandhaltbarkeit	849
	10.6.5.6	Datensysteme	850
	10.6.5.7	Virtuelle Beurteilung der Servicefreundlichkeit	850
	10.6.5.8	Berichtswesen	851

10.6.6	Strategie und Konzept	852
10.6.6.1	Instandhaltungsstrategien	852
10.6.6.2	Instandhaltungskonzept	852
10.6.6.3	Anforderungen zur Instandhaltbarkeit.....	852
10.6.6.4	Kunden- und Lieferantenbeziehungen.....	852
10.6.6.5	Rolle des Managements.....	853
10.6.6.6	Einfluss der EU.....	853
11	Rennsportwagen	855
11.1	Historie des Automobilrennsports	855
11.2	Technische Entwicklung der Rennfahrzeuge.....	856
11.3	Reglements für den Automobilrennsport.....	857
11.4	Beschreibung der verschiedenen Rennklassen und technische Merkmale der jeweiligen Rennfahrzeuge	858
11.5	Sicherheit im Rennsport.....	872
12	Automobil und Verkehr – Wie kann es weitergehen?	874
12.1	Auto und Verkehr im Spannungsfeld von Wunsch, Wissenschaft und Wirklichkeit.....	874
12.2	Zur Gestaltung des Gesamtsystems Verkehr	874
12.3	Verkehrstechnologie-Management.....	879
12.4	Verkehrsorganisations-Management	879
12.5	Abschlussbemerkungen	880
13	Ausblick – Wo geht es hin?	882
	Sachwortverzeichnis	884