

Hans-Hermann Braess | Ulrich Seiffert (Hrsg.)

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

6., aktualisierte und erweiterte Auflage

Mit 1214 Abbildungen und 122 Tabellen

ATZ/MTZ-Fachbuch



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, Wegfahrsperre, 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	Biegeschläffe 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	Motorexregte 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 Antriebsstrangkongzepte.....	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 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.....	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	Hj-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	Motorschmierng.....	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	Vorkammervverfahren.....	231
	5.2.5.3	Wirbelkammervverfahren.....	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
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 Halbhohlmetall.....	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	Innenraumbeglichkeit/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 Waschanlagen.....	482
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 Fahrzeuglängsrichtung.....	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 -schlauche.....	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	Fahrwerksauslegung.....	562
7.4.1	Kinematik der Radaufhängung.....	562
7.4.1.1	Radhubkinematik.....	562
7.4.1.2	Lenkk kinematik.....	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	Eigenschaftendes 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	Abschluss Scheibe.....	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	r-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 Querführung.....	771
9.4.2.3	Nachassistenz.....	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	Unangegurterter 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 Lötten.....	839
10.2.3.2	Mechanische Fügeverfahren.....	840
10.2.3.3	Kleben.....	843
10.2.4	Fortschritte in der Um- und Urformung.....	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	Gebräuchliche 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 richtungsweisende 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	Weibuliverteilung.....	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**