

Inhaltsverzeichnis

1	Mobilität	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Ursachen und Arten der Mobilität	2
1.2.1	Definitionen	2
1.2.2	„Aktivitäten bestimmen Mobilität“	3
1.2.3	Transportsysteme für den Güterverkehr	5
1.2.4	Einige spezielle Ausprägungen von Mobilität	5
1.3	Spannungsfelder und Nachteile der Mobilität	5
1.4	Mobilitätsrelevante Anforderungen an Automobile	6
1.4.1	Grundsätzliche Anforderungen	6
1.4.2	Spezielle Anforderungen	7
2	Anforderungen, Zielkonflikte	9
2.1	Produktinnovation, bisherige Fortschritte	9
2.2	Anforderungen durch den Gesetzgeber	16
2.2.1	Zulassung zum Straßenverkehr	16
2.2.2	Die nationalen und supranationalen Rechtsquellen	17
2.2.2.1	Straßenverkehrsrecht mit Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)	17
2.2.2.2	Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft	18
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)	20
2.2.3.1	Allgemeines	20
2.2.3.2	Bremsanlage	20
2.2.3.3	Sichtfeld	22
2.2.3.4	Schneeketten	22
2.2.3.5	Lichttechnische Einrichtungen	22
2.2.4	Fahrzeugsicherheit, Unfallfolgenmilderung	23
2.2.4.1	Allgemeines	23
2.2.4.2	Insassenschutz bei Frontalaufprall	23
2.2.4.3	Insassenschutz bei Seitenaufprall	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 Kraftfahrzeugmotoren	24
2.2.5.3.2	Emission aus Dieselmotoren (Rauchgastrübung)	26
2.2.5.4	Kraftstoffverbrauch und CO ₂ -Ausstoß	26
2.2.5.5	Elektromagnetische Verträglichkeit und Funkentstörung	26
2.2.6	Verschiedenes	27
2.2.6.1	Anbringung des hinteren Kennzeichens	27
2.2.6.2	Sicherungseinrichtungen gegen unbefugte Benutzung, Wegfahrsperre	27
2.2.6.3	Fabricschild, Fahrzeugidentifizierungsnummer	28
2.2.6.4	Messung der Motorleistung	28
2.2.6.5	Massen und Abmessung von Klasse M ₁ -Fahrzeugen	28
2.2.7	Ausblick	28
2.3	Neue Technologien	28
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	Bewegung des Fahrzeugaufbaus	37
3.1.6	Kräfte und Momente	38
3.1.7	Radaufhängungen	38
3.1.8	Lenkung	38
3.1.9	Räder und Reifen	39
3.2	Aerodynamik	39
3.2.1	Grundlagen	39
3.2.2	Wirkungsbereiche	40
3.2.2.1	Luftwiderstand/Fahrleistung	40
3.2.2.2	Fahrsicherheit	43
3.2.2.3	Benetzung und Verschmutzung	43
3.2.2.4	Einzelkräfte	44
3.2.2.5	Kühlung/Bauteiltemperaturen	45
3.2.2.6	Innenraumklima	46
3.2.2.7	Windgeräusche	46
3.2.3	Einordnung in die Gesamtentwicklung	47
3.3	Wärmetechnik	48
3.3.1	Kühlung von Verbrennungsmotoren	48
3.3.1.1	Auslegung von Kühlern	49
3.3.1.2	Kühlerbauarten	50
3.3.1.3	Lüfter und Lüfterantriebe	51
3.3.1.4	Kühlmodule	51
3.3.1.5	Gesamtsystem Motorkühlung	52
3.3.2	Beheizen und Kühlen des Fahrgastraumes	52
3.3.2.1	Die Funktion Heizen und ihre Komponenten	53
3.3.2.2	Die Funktion der Kälteanlage und ihre Komponenten	55
3.3.2.3	Kompressoren und Regelung der Kälteleistung	57
3.3.2.4	Auslegung der Klimaanlage	57
3.3.2.5	Kraftstoffmehrverbrauch durch die Klimaanlage	59
3.4	Fahrzeugakustik	59
3.4.1	Einleitung	59
3.4.2	Zieldefinition	60
3.4.3	Komponentenqualifikation	63
3.4.3.1	Antriebsaggregat	63
3.4.3.2	Antriebsstrang	66
3.4.3.3	Karosserie	68
3.4.3.4	Lenkungssysteme	71
3.4.4	Optimierung Gesamtfahrzeug	71
3.4.4.1	Aeroakustik	72
3.4.4.2	Übertragungspfadanalyse	74
3.4.4.3	Schwingungskomfort	76
3.4.5	Außengeräusch	78
3.4.6	Qualitätssicherung	80
4	Formen und neue Konzepte	82
4.1	Design	82
4.1.1	Definition von Design	82
4.1.2	Wachsende Bedeutung von Design	82
4.1.2.1	Design und Plattform-/Gleichteile-Konzept	82
4.1.2.2	Design und Markenimage	83
4.1.2.3	Design als Marketinginstrument	84
4.1.2.4	Trendforschung	84
4.1.2.5	Zielkonflikte	84
4.1.3	Exterieur-/Interieur-Design, Colour & Trim, Advanced Design	84
4.1.4	Der Design-Prozess	86
4.1.4.1	Der klassische Design-Prozess	86
4.1.4.2	Der digitale Design-Prozess	88
4.1.4.3	Digital Process – Stärken und Schwächen	91

4.1.5	Ausblick	91
4.2	Fahrzeugkonzept und -package in der PKW-Entwicklung	92
4.2.1	Entwicklungsablauf	92
4.2.1.1	Produktanforderungen, Lastenheft	92
4.2.1.2	Erstellung Fahrzeugkonzept	92
4.2.1.3	Styling/Hard Point Package	92
4.2.1.4	Package	92
4.2.2	Fahrzeugkonzeptionierung als Prozess	92
4.2.2.1	Ablauf	92
4.2.2.2	Packageausführungsformen und Datenmanagement	93
4.2.3	Auslegungsbereiche und Einflussfaktoren des Fahrzeugpackages	94
4.2.3.1	Maßdefinitionen	94
4.2.3.2	Fahrzeugkonzept	94
4.2.3.2.1	Frontmotoranordnung	95
4.2.3.2.2	Heckmotoranordnung	97
4.2.3.2.3	Mittelmotoranordnung	97
4.2.3.2.4	Sonderformen der Aggregatanordnung	98
4.2.3.2.5	Vergleich der Fahrzeugkonzepte	98
4.2.3.3	Auslegungsbereiche des Fahrzeugpackages	99
4.2.3.3.1	Innenraum	99
4.2.3.3.2	Gepäckraum	100
4.2.3.3.3	Karosseriestruktur	100
4.2.3.3.4	Motorraum	100
4.2.3.3.5	Abgasanlage, Antriebsstrang und Unterboden	100
4.2.3.3.6	Tank, Leitungen und Reserverad	101
4.2.3.3.7	Maßvergleich verschiedener Fahrzeugklassen	102
4.2.3.4	Gesetzliche Forderungen	103
4.2.3.4.1	Direkte Einflüsse auf das Fahrzeugkonzept	103
4.2.3.4.2	Indirekte Einflüsse auf das Fahrzeugkonzept	103
4.2.3.5	Anforderungen aus Produktion und Kundendienst	103
4.2.3.5.1	Produktion und Modularisierung	103
4.2.3.5.2	Kundendienst	104
4.2.3.6	Strategische Einflüsse	104
4.2.3.6.1	Fahrzeugplattform	104
4.2.3.6.2	Fahrzeugvarianten	105
4.2.3.6.3	Baukasten	105
4.2.4	Fahrzeugkonzeptionierung in der Zukunft	105
4.3	Neuartige Antriebe	106
4.3.1	Elektroantriebe	106
4.3.1.1	Antriebssysteme für Elektrofahrzeuge	106
4.3.1.2	Elektromotoren für Elektrofahrzeuge	107
4.3.1.3	Umrichter	108
4.3.1.4	Traktionsbatterien	110
4.3.1.5	Ladegeräte	111
4.3.1.6	Ausblick	112
4.3.2	Brennstoffzellen als Antriebe für mobile Systeme	112
4.3.2.1	Necar-Fahrzeuge	116
4.3.2.2	Nebus-Brennstoffzellenbus	117
4.3.2.3	Schadstoffe bei Brennstoffzellenantrieben	118
4.3.2.4	Ausblick	119
4.3.3	Hybridantrieb	119
4.3.3.1	Szenario	119
4.3.3.2	Konzepte	120
4.3.3.3	Komponenten aus Hybridsicht	121
4.3.4	Stirlingmotor, Gasturbine und Schwungrad	123
4.3.4.1	Stirlingmotor	123
4.3.4.2	Gasturbine	124
4.3.4.3	Schwungrad – Flywheel	126

5	Antriebe	128
5.1	Ottomotor	128
5.1.1	Ottomotor (Grundlagen, Teil 1)	128
5.1.1.1	Arbeitsweise	128
5.1.1.1.1	Viertakt-Verfahren	129
5.1.1.1.2	Wirkungsgrade	129
5.1.1.1.3	Definitionen, Kenngrößen	130
5.1.1.2	Gestaltung und Mechanik	131
5.1.1.2.1	Bauformen	131
5.1.1.2.2	Kurbeltrieb	133
5.1.1.2.3	Ventiltrieb	136
5.1.1.2.4	Ladungswechselorgane	138
5.1.1.2.5	Werkstoffe	141
5.1.1.3	Motormanagement	144
5.1.1.3.1	Einspritzung	144
5.1.1.3.2	Gemischbildung	145
5.1.1.3.3	Zündung	146
5.1.1.3.4	Verbrennung	149
5.1.1.3.5	Abgasemissionen und Katalysator	150
5.1.1.3.6	Motorsteuerung	153
5.1.1.4	Kühlung und Schmierung	155
5.1.1.5	Nebenaggregate und Package	158
5.1.2	Ottomotor (Teil 2)	160
5.1.2.1	Zukunftslösungen	160
5.1.2.2	Direkteinspritzung	161
5.1.2.2.1	Brennverfahren	161
5.1.2.2.2	Ladungsbewegung	168
5.1.2.2.3	Einspritztechnik	168
5.1.2.2.4	Betriebsstrategie und Motormanagement	171
5.1.2.2.5	Abgasnachbehandlung	172
5.1.2.3	Variable Ventilsteuerung	173
5.1.2.3.1	Drosselfreie Laststeuerung	174
5.1.2.3.2	Konstruktive Lösungen	176
5.1.2.4	Downsizing und Aufladung	179
5.1.2.4.1	Betriebspunktverlagerung	179
5.1.2.4.2	Variable Verdichtung	180
5.2	Dieselmotor	182
5.2.1	Definitionen	182
5.2.2	Ausführungsformen	182
5.2.3	Historie einer Erfindung	182
5.2.4	Motortechnische Grundlagen	185
5.2.4.1	Einleitung	185
5.2.4.2	Vergleich motorischer Verbrennungsverfahren	186
5.2.4.3	Die Thermodynamik des Dieselmotors	187
5.2.5	Die dieselmotorische Verbrennung	188
5.2.5.1	Allgemeines	188
5.2.5.2	Einspritzung und Gemischbildung	189
5.2.5.3	Selbstzündung und Zündverzug	190
5.2.5.4	Abgasemissionen	191
5.2.6	Konstruktive Merkmale der Einspritzsysteme	195
5.2.6.1	Verteilereinspritzpumpe	195
5.2.6.2	Reihenpumpe	197
5.2.6.3	Einspritzdüsen und Düsenhalter	197
5.2.6.4	Pumpe-Düse	200
5.2.6.5	Speichereinspritzsystem	201
5.2.6.6	Simulation von Einspritzsystemen	201
5.2.7	Konstruktive Merkmale der Verbrennungsverfahren	202

	5.2.7.1	Vorkammerv Verfahren	202
	5.2.7.2	Wirbelkammerv Verfahren	203
	5.2.7.3	Direkte Einspritzung	203
	5.2.7.4	Triebwerk und Zylinderkopf	204
	5.2.7.5	Aufladung	205
	5.2.7.6	Lebensdauer	206
	5.2.8	Qualitative Bewertung von Verbrennungsverfahren	206
	5.2.9	Abgasnachbehandlung	207
	5.2.9.1	Oxidationskatalysator	207
	5.2.9.2	Dieselpartikel	207
	5.2.9.3	Entstickung	209
	5.2.10	Simulation der dieselmotorischen Verbrennung	211
	5.2.11	Dieselmotorkraftstoffe	213
	5.2.12	Die Zukunft des Dieselmotors	214
5.3		Aufladung	218
	5.3.1	Gründe und Ziele	218
	5.3.2	Systeme	219
	5.3.2.1	Abgasturbo-Aufladung	219
	5.3.2.2	Druckwellenaufladung	219
	5.3.2.3	Mechanische Aufladung	221
	5.3.3	Komponenten	221
	5.3.3.1	Abgasturbolader	221
	5.3.3.2	Druckwellenlader	223
	5.3.3.3	Kompressor	223
	5.3.3.3.1	Roots-Kompressor	223
	5.3.3.3.2	Spiral-Kompressor	224
	5.3.4	Probleme der Anwendung	225
5.4		Triebstrang	226
	5.4.1	Überblick	226
	5.4.1.1	Einleitung	226
	5.4.1.2	Aufgaben des Getriebes	227
	5.4.1.3	Aufbau und Elemente des Triebstrangs	228
	5.4.1.4	Achsantrieb	229
	5.4.1.5	Differenzialgetriebe	229
	5.4.1.6	Allrad-Verteilergetriebe	229
	5.4.1.7	Gelenkwellen	229
	5.4.1.8	Schwingungssystem	230
	5.4.2	Anfahrelemente	230
	5.4.2.1	Kupplungen	230
	5.4.2.2	Hydrodynamischer Drehmomentwandler	234
	5.4.3	Das Handschaltgetriebe-System	237
	5.4.3.1	Funktion und Aufbau	237
	5.4.3.2	Verzahnung	238
	5.4.3.3	Synchronisierung	238
	5.4.3.4	Weitere Getriebekomponenten	239
	5.4.3.5	Getriebebeschaltung	240
	5.4.3.6	Ausführungsbeispiele	240
	5.4.3.7	Automatisierte Schaltgetriebe	241
	5.4.4	Stufenautomatgetriebe	241
	5.4.4.1	Funktionsweise	241
	5.4.4.2	Aufbau	242
	5.4.4.3	Baugruppen	243
	5.4.4.4	Betätigung	247
	5.4.4.5	Betriebsverhalten	248
	5.4.4.6	Ausführungsbeispiele	249
	5.4.5	Stufenlose Getriebe	250
	5.4.5.1	Funktionsweise	250
	5.4.5.2	Aufbau	251

5.4.5.3	Baugruppen	252
5.4.5.4	Betätigung	254
5.4.5.5	Betriebsverhalten	254
5.4.5.6	Ausführungsbeispiele	254
5.4.6	Elektronische Getriebesteuerung	255
5.4.6.1	Gesamtsystem	255
5.4.6.2	Steuergerät	256
5.4.6.3	Bauteile	257
5.4.6.4	Funktionen	258
5.4.7	Ausblick	260
5.5	Allradantriebe, Brems- und Antriebsregelungen	262
5.5.1	Allradantriebs-Konzepte	262
5.5.1.1	Verwendung von Allradantrieben	262
5.5.1.2	Kennlinien von Allradantrieben	262
5.5.1.3	Systematik der Antriebe	263
5.5.1.4	Komponenten	263
5.5.1.5	Systemauswahl	268
5.5.1.6	Einfluss auf Crashverhalten	269
5.5.1.7	Geräusch- und Schwingungstechnik (NVH)	269
5.5.1.8	Dimensionierung	269
5.5.1.9	Bremsverhalten von allradgetriebenen Fahrzeugen, Allradantrieb und Regelsysteme	269
5.5.2	Antriebs- und Bremsregelung	207
5.5.2.1	Unfallvorbeugende Sicherheit	270
5.5.2.2	Traktionssysteme	270
5.5.2.3	Stabilitätssysteme	271
5.5.2.3.1	Passive Systeme ASC, ASR	271
5.5.2.3.2	Aktive Systeme, DSC, ESP	272
5.5.2.4	DSC, ESP mit Fremdkraftbremsen	273
5.5.2.4.1	Brake-by-Wire	274
5.5.2.5	Sensorik	274
5.5.2.5.1	Raddrehzahlfühler	274
5.5.2.5.2	Fahrdynamiksensorik	276
5.5.2.6	Adaptive Cruise Control ACC	276
5.6	Optimierung der Nebenaggregate	278
5.6.1	Wachsender Energieverbrauch im Kfz durch eine steigende Anzahl von elektrischen Verbrauchern	278
5.6.2	Strategien zur Verbrauchsminimierung	279
5.6.2.1	Verbesserung der Energieerzeugung „on board“	279
5.6.2.1.1	Die Verbesserung des Generators	279
5.6.2.1.2	Die „Smart-power-Switch“	279
5.6.2.1.3	Das ISAD-System	279
5.6.2.1.4	Adaptronik	280
5.6.2.1.5	Die erhöhte Bordnetzspannung	280
5.6.2.1.6	Die 5 kW-Brennstoffzelle	280
5.6.2.2	Verbesserung des Wirkungsgrades und des Verbrauchs der Nebenaggregate	281
5.6.2.2.1	Elektrische Servolenkung	281
5.6.2.2.2	Bedarfsgerechte Kraftstoffpumpe	281
5.6.2.2.3	Elektrohydraulisches/elektromechanisches Bremssystem	282
5.6.2.3	Energiemanagementsysteme	282
5.7	Chancen und Risiken des Zweitaktmotors	284
5.7.1	Das Zweitaktverfahren	284
5.7.2	Das verwendete Konzept	285
5.7.3	Die Entwicklungsschwerpunkte	286
5.7.3.1	Abgasverhalten	286
5.7.3.2	Geräuschverhalten	286
5.7.3.3	Kraftstoffverbrauch	286

5.7.3.4	Mechanische Standfestigkeit	288
5.7.3.5	Package/Gewicht	288
5.7.3.6	Kosten	289
5.7.4	Zusammenfassung und Bewertung	290
5.8	Alternative Kraftstoffe im Vergleich	290
5.8.1	Systematik der Möglichkeiten für die Versorgung mobiler Verbraucher mit Antriebsenergie	290
5.8.2	Kriterien für die Auswahl von Energieträgern für den Straßenverkehr	291
5.8.3	Konventionelle Kraftstoffe und Möglichkeiten zu ihrer Weiterentwicklung	293
5.8.4	Wesentliche Gründe für alternative Energieträger im Fahrzeug	293
5.8.5	Biogene Kraftstoffe	294
5.8.6	Methanol	294
5.8.7	Erdgas	295
5.8.8	Wasserstoff	295
6	Aufbau	298
6.1	Karosseriebauweisen	298
6.1.1	Selbsttragende Karosserie	298
6.1.1.1	Entwicklungsanforderungen	298
6.1.1.2	Außenhaut	298
6.1.1.2.1	Design	298
6.1.1.2.2	Aerodynamik und Aeroakustik	299
6.1.1.3	Package	300
6.1.1.4	Karosseriestruktur	301
6.1.1.4.1	Unterboden	301
6.1.1.4.2	Aufbau	303
6.1.1.4.3	Zusammenbau Seitenwand	304
6.1.1.4.4	Dach	304
6.1.1.4.5	Anbauteile	305
6.1.1.4.6	Verbindungstechnik	305
6.1.1.5	Karosserieeigenschaften	306
6.1.1.5.1	Zusammenbautoleranzen	306
6.1.1.5.2	Karosseriesteifigkeiten	307
6.1.1.5.3	Aufprallverhalten	307
6.1.1.6	Ausblick	308
6.1.2	Space-Frame/Beplankungen	308
6.1.2.1	Einleitung	308
6.1.2.2	AUDI-Space-Frame-Konzept	309
6.1.2.3	Werkstoffe	310
6.1.2.4	Bauelemente des ASF	311
6.1.2.5	Fertigungstechnik	312
6.1.2.6	Eigenschaften des ASF	313
6.1.2.7	Energiebilanz	314
6.1.2.8	Ausblick	316
6.1.3	Cabriolet	316
6.1.3.1	Einführung	316
6.1.3.2	Rohbau	317
6.1.3.2.1	Karosseriesteifigkeit	318
6.1.3.2.2	Karosserietilger	318
6.1.3.3	Unfallfolgenmildernde Sicherheit	319
6.1.3.4	Türen	319
6.1.3.5	Verdeck	319
6.1.3.5.1	Verdeckaufbau	320
6.1.3.5.2	Textilumfang	320
6.1.3.5.3	Dichtungen	320
6.1.4	Mischbauweise	321
6.2	Materialien der Karosserie	330
6.2.1	Metalle im Karosseriebau	331

6.2.2	Nichtmetalle im Karosseriebau	342
6.2.3	Multifunktionale Materialien im Karosseriebau – smart materials – der Zukunft	345
6.3	Oberflächenschutz	347
6.3.1	Nutzen des Oberflächenschutzes	347
6.3.1.1	Korrosionsschutz	347
6.3.1.2	Oberflächenschutz	348
6.3.1.3	Transportschutz	348
6.3.2	Entwicklung und Produktion des Oberflächenschutzes	348
6.3.2.1	Blechvorbeschichtung	349
6.3.2.2	Maßnahmen in der Karosseriekonstruktion	349
6.3.2.3	Maßnahmen in der Produktion	350
6.3.2.3.1	Kleben und Dichten	350
6.3.2.3.2	Vorbehandlung	350
6.3.2.3.3	Elektrotauchlackierung	352
6.3.2.3.4	Grund- und Decklackierung	353
6.3.2.4	Hohlraumkonservierung und Unterbodenschutz	354
6.3.2.4.1	Hohlraumkonservierung	354
6.3.2.4.2	Unterbodenschutz	355
6.3.2.5	Transportschutz	355
6.3.3	Ausblick	355
6.4	Fahrzeuginnenraum	356
6.4.1	Ergonomie und Komfort	356
6.4.1.1	Ergonomische Anforderungen an das „Gesamtfahrzeug“	356
6.4.1.2	Ergonomische Grundaussagen	359
6.4.1.3	Entwicklungsmethoden, Einbindung der Ergonomie in dem Entstehungsprozess	363
6.4.2	Kommunikationssysteme und Navigation	366
6.4.2.1	Ziele und Lösungen	366
6.4.2.2	Autoradio	366
6.4.2.2.1	RDS (Radio Data System)	367
6.4.2.2.2	TMC	367
6.4.2.2.3	DARC	368
6.4.2.3	DAB	368
6.4.2.4	Autotelefon	368
6.4.2.4.1	Einbau von Handys ins Fahrzeug	369
6.4.2.4.2	Festeinbautelefone	369
6.4.2.4.3	Radiophone	369
6.4.2.5	Bakenkommunikation	370
6.4.2.6	Navigation	370
6.4.2.6.1	Dynamische Navigation	370
6.4.2.7	Verkehrstelematik	371
6.4.2.8	Fahrerinformationssysteme	371
6.4.3	Innenraumbehaglichkeit/Thermischer Komfort	372
6.4.3.1	Komfortbedürfnisse des Autofahrers	373
6.4.3.2	Funktionen und Aufbau des Klimagerätes	374
6.4.3.2.1	Funktionen des Klimagerätes – Luft fördern	375
6.4.3.2.2	Funktionen des Klimagerätes – Luft temperieren und entfeuchten	375
6.4.3.2.3	Funktionen des Klimagerätes – Luft verteilen	376
6.4.3.2.4	Funktionen des Klimagerätes – Luft reinigen	377
6.4.3.2.5	Bauformen des Klimagerätes	378
6.4.3.2.6	Auslegung des Klimagerätes	379
6.4.3.3	Regelung von Klimaanlage	379
6.4.3.3.1	Automatisierungsgrade	379
6.4.3.3.2	Bedienung von Klimaanlage, Ergonomie	380
6.4.3.3.3	Stellantriebe und Sensoren	381
6.5	Fahrzeugsicherheit	382
6.5.1	Allgemein	382

6.5.2	Gebiete der Fahrzeugsicherheit	383
6.5.3	Daten der Unfallstatistik	385
6.5.4	Biomechanik und Schutzkriterien	387
6.5.4.1	Biomechanik	387
6.5.4.1.1	Grundlagen	387
6.5.4.1.2	Belastungsgrenzen	387
6.5.4.2	Schutzkriterien	389
6.5.4.3	Simulationseinrichtungen	390
6.5.4.3.1	Kopf	390
6.5.4.3.2	Rumpf	390
6.5.4.3.3	Gesamtkörper	390
6.5.5	Quasistatische Anforderungen an die Karosserie	391
6.5.5.1	Sitz- und Sicherheitsgurtverankerungspunkt-Test	391
6.5.5.2	Dachfestigkeit	391
6.5.5.3	Seitenstruktur	391
6.5.6	Dynamische Fahrzeugkollision	392
6.5.6.1	Frontale Kollision	392
6.5.6.2	Seitliche Kollision	394
6.5.6.3	Heckkollision und Fahrzeugüberschlag	394
6.5.6.4	Karosserie	395
6.5.7	Insassenschutz	395
6.5.7.1	Fahrzeuginnenraum	395
6.5.7.2	Rückhaltesysteme	395
6.5.7.2.1	Sicherheitsgurte	396
6.5.7.2.2	Kinderrückhaltesysteme	396
6.5.7.2.3	Airbag-Systeme	397
6.5.7.2.4	Sitze, Sitzlehnen und Kopfstütze	397
6.5.8	Zusammenwirken von Rückhaltesystemen und Fahrzeug	398
6.5.8.1	Unangegurteter	398
6.5.8.2	Dreipunktgurt	399
6.5.8.3	Airbag-Systeme	399
6.5.8.4	Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit der Rückhaltesysteme	400
6.5.9	Seitenkollisionen	400
6.5.9.1	Theoretische Betrachtung	401
6.5.9.2	In den USA definierter Seitenaufpralltest	401
6.5.10	Kompatibilität	402
6.5.10.1	Allgemeine Aussage	402
6.5.10.2	PKW/LKW-Kollision	403
6.5.10.3	Die Fußgängerkollision	403
6.5.11	Rechnerunterstützung bei der Entwicklung von Sicherheitskomponenten	404
6.5.11.1	Grundlagen	404
6.5.11.2	Beschreibung der numerischen Werkzeuge	405
6.5.11.3	Komponentenberechnung	405
6.5.11.4	Gesamtfahrzeugauslegung	406
6.5.11.5	Gesamtmodell	406
6.5.11.5.1	Fahrzeugmodell	406
6.5.11.5.2	Insassensimulation	407
6.5.12	Zusammenfassung	408
7	Fahrwerk	409
7.1	Allgemeines	409
7.1.1	Definition des Begriffs Fahrwerk	409
7.1.2	Aufgaben des Fahrwerks	409
7.1.3	Fahrdynamik und Fahrwerkskräfte	410
7.1.3.1	Querdynamik: Fahrwerkskräfte in Querrichtung	410
7.1.3.1.1	Lenken der Räder	410
7.1.3.1.2	Stabilisieren des Fahrzeugs auf einer vorgegebenen Bahn	411
7.1.3.2	Längsdynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeuginnenrichtung	412

	7.1.3.3	Vertikaldynamik: Fahrwerkskräfte in Fahrzeughochrichtung	412
	7.1.4	Basis-Zielkonflikt	413
7.2		Bremsen	415
	7.2.1	Einführung	415
	7.2.2	Grundlagen von Bremssystemen	415
	7.2.2.1	Physikalische Grundlagen	415
	7.2.2.2	Arten von Bremsanlagen	415
	7.2.2.3	Gesetzliche Vorschriften	416
	7.2.2.4	Bremskreisaufteilungen	416
	7.2.2.5	Bremsvorgang	416
	7.2.2.6	Bremsauslegung	417
	7.2.2.6.1	Bremskraftverteilung (BKV)	417
	7.2.2.6.2	BKV-Diagramm	418
	7.2.2.6.3	Dimensionierung	418
	7.2.2.6.4	Thermische Auslegung	418
	7.2.2.6.5	Pedalcharakteristik (Ergonomie)	418
	7.2.3.	Radbremse	419
	7.2.3.1	Trommelbremsen	419
	7.2.3.1.1	Feststellbremse	419
	7.2.3.1.2	Simplex Trommelbremse	419
	7.2.3.1.3	Duplex Trommelbremse	420
	7.2.3.1.4	Duo-Servo-Trommelbremsen	420
	7.2.3.1.5	Bremstrommeln	420
	7.2.3.1.6	Berechnung von Trommelbremsen	421
	7.2.3.2	Scheibenbremsen	421
	7.2.3.2.1	Scheibenbremsen-Bauformen	421
	7.2.3.2.2	Bremsscheiben	422
	7.2.3.2.3	Festsattel	422
	7.2.3.2.4	Rahmensättel	423
	7.2.3.2.5	Faustsattel	423
	7.2.3.2.6	Optimierte Faustsattelkonstruktionen	423
	7.2.3.2.7	Berechnung der Scheibenbremsen	423
	7.2.3.2.8	Kombinierter Faustsattel	424
	7.2.3.3	Werkstoffe	424
	7.2.3.4	Bremsbeläge	425
7.2.4		Betätigung	425
	7.2.4.1	Tandem-Hauptzylinder	425
	7.2.4.1.1	Schnüffelloch-Tandem-Hauptzylinder	425
	7.2.4.1.2	Zentralventil-Tandem-Hauptzylinder	426
	7.2.4.1.3	Plunger-Tandem-Hauptzylinder	426
	7.2.4.2	Behälter	427
	7.2.4.3	Bremskraftverstärker	427
	7.2.4.3.1	Vakuum-Bremskraftverstärker	427
	7.2.4.3.2	Vakuumpumpe	428
	7.2.4.3.3	Funktionserweiterte Vakuum-Bremskraftverstärker	429
	7.2.4.3.4	Hydraulik-Bremskraftverstärker	429
	7.2.4.4	Bremskraftverteiler	429
	7.2.4.4.1	Bremsdruckbegrenzer	430
	7.2.4.4.2	Druckabhängige Druckminderer (festeingestellt)	430
	7.2.4.4.3	Lastabhängige Druckminderer	430
	7.2.4.5	Übertragungseinrichtungen (Verbindungen)	430
	7.2.4.6	Bremsflüssigkeit	430
7.2.5		Elektronische Regelsysteme	431
	7.2.5.1	Allgemeines	431
	7.2.5.2	Physikalische Grundlagen	431
	7.2.5.2.1	Dynamik des gebremsten oder angetriebenen Rades	431
	7.2.5.2.2	Kraftschluss in Längsrichtung	431
	7.2.5.2.3	Kraftschluss in Querrichtung	432

	7.2.5.2.4	Kombination des Kraftschlusses in Längs- und Querrichtung	432
7.2.5.3		Sensoren für elektronische (Brems-)Regelsysteme	433
	7.2.5.3.1	Radsensoren	433
	7.2.5.3.2	Wegsensor in der Betätigung	435
	7.2.5.3.3	Beschleunigungsschalter/Beschleunigungssensor	435
	7.2.5.2.4	Lenkradwinkelsensor	435
	7.2.5.3.5	Querbeschleunigungssensor	435
	7.2.5.3.6	Gierratensensor	435
	7.2.5.3.7	Drucksensor	436
7.2.5.4		Hydraulisch/elektronische Regeleinheit für elektronische (Brems-)Regelsysteme	436
7.2.5.5		Elektronische Regeleinheit für elektronische (Brems-)Regelsystem	437
7.2.5.6		Bremsen mit ABS	437
	7.2.5.6.1	ABS-Funktionalität	437
	7.2.5.6.2	Arbeitsbereich des ABS	438
7.2.5.7		Elektronische Bremskraftverteilung (EBV)	439
7.2.5.8		Erweitertes Stabilitäts-Bremssystem (ESBS)	440
7.2.5.9		Antriebsschlupfregelung (ASR)	440
	7.2.5.9.1	ASR-Funktionalität	440
	7.2.5.9.2	Bremsregelung der ARS (BASR)	440
	7.2.5.9.3	Motorregelung der ASR (MASR)	440
	7.2.5.9.4	Motor-Schleppmomenten-Regelung (MSR)	440
	7.2.5.10	Elektronisches Stabilitäts Programm (ESP)	440
7.2.6		Assistenzsysteme	441
	7.2.6.1	Bremsassistent (BA)	441
	7.2.6.1.1	Elektronischer Bremsassistent	441
	7.2.6.1.2	Mechanischer Bremsassistent	442
	7.2.6.1.3	Hydraulischer Bremsassistent	442
7.2.7		Entwicklung zukünftiger Bremssysteme	443
	7.2.7.1	Elektrische Parkbremse (EPB) und aktive Parkbremse (APB)	443
	7.2.7.2	Elektro-Hydraulische Bremse (EHB)	444
	7.2.7.3	Elektro-Mechanische Bremse (EMB)	445
7.3		Reifen	447
	7.3.1	Einführung	447
	7.3.2	Reifenaufbau	447
	7.3.3	Anforderungen an Reifen	448
	7.3.3.1	Gebrauchseigenschaften	448
	7.3.3.2	Gesetzliche Anforderungen	452
	7.3.3.3	Reifen und Räder, Normung	452
	7.3.4	Kraftübertragung Reifen – Fahrbahn	453
	7.3.4.1	Tragverhalten	453
	7.3.4.2	Kraftschlussverhalten, Aufbau von Horizontalkräften	453
	7.3.4.3	Antreiben und Bremsen, Umfangskräfte	453
	7.3.4.4	Schräglauf, Kräfte und Momente	454
	7.3.4.5	Reifen unter Quer- und Längsschlupf	455
	7.3.4.6	Reifengleichförmigkeit	455
	7.3.5	Reifen als integraler Baustein des Gesamtsystems Fahrzeug	456
	7.3.5.1	Reifenmechanik, Materialeigenschaften	457
	7.3.5.2	Reifenmodelle	458
	7.3.5.3	Gesamtmodelle	458
	7.3.5.4	Beschreibung des Fahrverhaltens	459
	7.3.5.5	Synergien zwischen Reifen und anderen Systemkomponenten	459
	7.3.6	Zukünftige Reifentechnologien	459
	7.3.6.1	Reifensysteme mit Notlaufeigenschaften	459
	7.3.6.2	Reifenbezogene Zusatzprodukte	459
	7.3.6.3	Auf Reifen abgestimmte Komponenten im Federungssystem	459
	7.3.6.4	Zusatzfunktionen bei Reifen	459
	7.3.6.5	Materialentwicklung	459

7.4	Fahrwerkauslegung	460
7.4.1	Kinematik der Radaufhängung	460
7.4.1.1	Radhubkinematik	460
7.4.1.2	Lenkinematik	462
7.4.2	Elastokinemik	463
7.4.2.1	Wirkung von Bauteilelastizitäten	463
7.4.2.2	Elastomerlager	464
7.4.2.3	Wirkung äußerer Kräfte	466
7.4.3	Radaufhängungen	469
7.4.3.1	Starrachsen	470
7.4.3.2	Einzelradaufhängungen	471
7.4.3.3	Verbundachsen	473
7.4.4	Federung, Dämpfung, Stabilisatoren	474
7.4.4.1	Tragfeder	474
7.4.4.2	Stabilisierung	478
7.4.4.3	Schwingungsdämpfung	479
7.4.4.4	Vertikaldynamiksysteme	481
7.4.4.5	Ausblick	485
7.4.5	Lenkung	486
7.4.5.1	Lengungskinematik	487
7.4.5.2	Lenkgetriebe und -gestänge	496
7.4.5.3	Lenkunterstützung	497
7.4.6	Aktive Lenksysteme	501
7.4.6.1	Einleitung	501
7.4.6.2	Aktive Vorderradlenkungen	502
7.4.6.2.1	Aktive Servolenkungen	502
7.4.6.2.2	Überlagerunglenkungen	503
7.4.6.2.3	„Steer by wire“-Lenksysteme	503
7.4.6.3	Aktive Hinterradlenkungen	505
7.4.6.3.1	Hinterradlenkungen ohne fahrdynamische Regelung	506
7.4.6.3.2	Hinterradlenkungen mit fahrdynamischer Regelung	507
7.5	Beurteilungskriterien	509
7.5.1	Subjektive Fahreigenschaftsbeurteilung	509
7.5.2	Objektive Fahreigenschaftsbeurteilung	509
7.5.2.1	Geradeausfahrt	511
7.5.2.2	Kurvenverhalten	513
7.5.2.3	Übergangsverhalten	514
7.5.2.4	Ausblick	515
7.6	Kraftstoffsystem	516
7.6.1	Gesetzliche und kundenspezifische Vorschriften	516
7.6.1.1	Gesetzliche Vorschriften	516
7.6.1.2	Kundenspezifische Vorschriften	517
7.6.2	Anordnung im Fahrzeug	517
7.6.3	Systemvarianten	518
7.6.3.1	Externes Ausgleichsvolumen (z.B. BMW 3er)	518
7.6.3.2	Internes Ausgleichsvolumen (z.B. Audi A4)	518
7.6.4	Kraftstoff-Behälter	518
7.6.4.1	Metall-Kraftstoff-Behälter	518
7.6.4.2	Kunststoff-Kraftstoff-Behälter	519
7.6.5	Fördersysteme	520
7.6.5.1	Förderung des Kraftstoffs	520
7.6.5.2	Elektro-Kraftstoff-Pumpe (EKP) und deren Anordnung	520
7.6.5.3	Anforderungen zur elektrischen/elektronischen Systemeinbindung	521
7.6.5.4	Saugstrahlpumpe	521
7.6.5.5	Schwalltopf	522
7.6.6	Filtrierung des Kraftstoffs	522
7.6.7	Volumen-Messeinrichtung	522
7.6.7.1	Hebelgeber	523

7.6.7.2	Tauchrohrgeber	523
7.6.8	Sonderlösungen, Zusatz-Kraftstoff-Behälter	523
7.6.9	Kraftstoffversorgungsanlagen für alternative Energien	524
7.6.9.1	Alternative Kraftstoffe	524
7.6.9.2	Kundenanforderungen und gesetzliche Vorschriften	524
7.6.9.3	Anordnungen im Fahrzeug	524
7.6.9.4	Kraftstoffbehälter	524
7.6.9.5	Fördersysteme und Volumenmessung	526
8	Elektrik/Elektronik	528
8.1	Beleuchtung	528
8.1.1	Zulassung	528
8.1.2	Lichttechnische Begriffe	528
8.1.3	Scheinwerfer	528
8.1.3.1	Historische Entwicklung	528
8.1.3.2	Scheinwerferarten	529
8.1.3.3	Reflektortechnologie	529
8.1.3.4	Abschlusscheibe	531
8.1.3.5	Scheinwerfer-Einstellung	532
8.1.3.6	Scheinwerfer-Lichtquellen	533
8.1.3.7	Xenonlicht	534
8.1.4	Lichtbewertung	535
8.1.5	Tagfahrlicht	535
8.1.6	Zusatzscheinwerfer	536
8.1.7	Signalleuchten	536
8.1.7.1	Lichtquellen für Signalleuchten	537
8.1.7.2	Bauformen	537
8.1.8	Beleuchtungsstyling	537
8.1.9	Zukunftsentwicklung	538
8.2	Sensorik/Aktuatorik/Systemtechnik	538
8.2.1	Einleitung	538
8.2.2	Allgemeines	539
8.2.3	Sensorik	540
8.2.4	Aktuatorik	542
8.2.5	Kabel	543
8.2.6	Verbindungstechnik	544
8.2.7	Grundzüge der Signalverarbeitung und -übertragung	544
8.2.8	Grundzüge der Steuer- und Regelungstechnik/Elektronik	546
8.2.9	Systemintegration, Plattformen	547
8.2.10	Offene Fragen – aktuelle Probleme	548
8.3	Bordnetz/CAN	549
8.3.1	Einleitung	549
8.3.1.1	Heutige Bordnetzstrukturen	549
8.3.1.2	Entwicklungstendenzen zukünftiger Bordnetze	549
8.3.2	Klauenpolgenerator	549
8.3.2.1	Aufbau und Wirkungsweise	549
8.3.2.2	Leistungs- und Wirkungsgradverhalten	550
8.3.2.3	Spannungsregelung	550
8.3.3	Batterien	552
8.3.3.1	Batteriekenngößen	552
8.3.3.2	Betriebsverhalten von Bleibatterien	552
8.3.3.3	Zweibatterienbordnetz	553
8.3.4	Zukünftige Bordnetzarchitekturen	553
8.3.4.1	Zweispannungsbordnetz 42 V/14 V	553
8.3.4.2	Signal- und Leistungsverteilung	554
8.3.4.3	Energiemanagement	555
8.3.5	CAN (Controller Area Network)	556
8.3.5.1	Motivationen	556

8.3.5.2	Einsatzgebiete	556
8.3.5.3	Buskonfiguration	557
8.3.5.4	Busvergabe und Adressierung	557
8.3.5.5	Botschaftsformat	558
8.3.5.6	Störungserkennung und -behandlung	559
8.3.5.7	Implementierung	559
8.3.5.8	Standardisierung	560
8.3.5.9	Zusammenfassung	560
8.4	Multimedia Systeme im Kfz	560
8.4.1	Analoge Rundfunksysteme	561
8.4.1.1	Störeinflüsse des mobilen Rundfunkempfangs	561
8.4.1.2	Rundfunk Zusatzdienste	561
8.4.1.3	Autoradiogeräte für den Empfang analoger Rundfunkdienste	562
8.4.2	Digitale Rundfunksysteme	562
8.4.2.1	Digital Audio Broadcasting	563
8.4.2.2	Digital Radio Mondiale	564
8.4.2.3	Autoradiogeräte für den Empfang digitaler Rundfunksysteme	564
8.4.3	Multimedia Vernetzung	564
8.4.3.1	Evolution der Multimedia-Vernetzung im Kfz	565
8.5	Elektromagnetische Verträglichkeit	566
8.5.1	Eigenentstörung	566
8.5.2	Störfestigkeit gegen externe elektromagnetische Felder	567
8.5.3	Fernentstörung	568
8.5.4	Normen und Richtlinien	568
8.5.5	Sicherstellung der EMV	568
9	Werkstoffe und Fertigungsverfahren	569
9.1	Ein Blick zurück	569
9.2	Werkstoffe moderner Kraftfahrzeuge	571
9.2.1	Materialanteile im Automobilbau	572
9.2.2	Anforderungen und Zielkonflikte	573
9.2.3	Fortschritte in den Leistungsmerkmalen	573
9.2.3.1	Festigkeit und Verarbeitung	573
9.2.3.1.1	Stahlwerkstoffe	573
9.2.3.1.2	Leichtmetalle	576
9.2.3.1.3	Edelmetalle	583
9.2.3.1.4	Kunststoffe	583
9.2.3.1.5	Verglasung	587
9.2.3.2	Verschleißschutz	588
9.2.3.3	Korrosionsschutz	589
9.2.4	Fortschritte in der Fügetechnik	591
9.2.4.1	Schweißen und Löten	591
9.2.4.2	Mechanische Fügeverfahren	592
9.2.4.3	Kleben	594
9.2.5	Fortschritte in der Um- und Umformung	595
9.2.5.1	Metalle	595
9.2.5.2	Polymere	599
9.2.6	Fortschritte in der Umweltverträglichkeit	601
9.3	Wie geht es weiter?	607
10	Produktentstehungsprozess	609
10.1	Simultaneous Engineering und Projektmanagement im Produktentstehungsprozess	609
10.1.1	Einleitung	609
10.1.2	Der simultane Entwicklungsprozess - Simultaneous Engineering	609
10.1.3	Vorentwicklung	610
10.1.3.1	Erstellung eines Lastenheftes und Programmplanung	610
10.1.3.2	Prozessablaufplanung	612
10.1.3.3	Simultane Planung der internen und externen Entwicklung und Fertigung	616

10.1.3.4	Analytische Konstruktion und analytischer Fertigungsprozess	617
10.1.4	Serienentwicklung	618
10.1.4.1	Management des simultanen Entwicklungs- und Fertigungsprozesses	619
10.1.4.2	Reduzierter Testaufwand durch weniger Prototypstestphasen	620
10.1.5	Ausblick	621
10.2	Berechnung und Simulation	622
10.2.1	Einleitung	622
10.2.2	Organisatorische Gesichtspunkte	623
10.2.3	Methoden und Verfahren	623
10.2.3.1	Strukturberechnung	624
10.2.3.2	Strömungsberechnung	628
10.2.3.3	Simulationstechniken zur Unterstützung des Versuchs	631
10.3	Mess- und Versuchstechnik	632
10.3.1	Kurzer Rückblick	632
10.3.2	Grundsätzliches zur Mess- und Versuchstechnik im Automobilbau	632
10.3.3	Einige ausgewählte Beispiele	638
10.3.4	Zur Effizienz der Mess- und Versuchstechnik	639
10.4	Qualitätssicherung	640
11	Automobil und Verkehr – Wie kann es weitergehen?	642
11.1	Auto und Verkehr im Spannungsfeld von Wunsch, Wissenschaft und Wirklichkeit	642
11.2	Zur Gestaltung des Gesamtsystems Verkehr	642
11.3	Verkehrstechnologie-Management	647
11.4	Verkehrsorganisations-Management	648
12	Ausblick – Wo geht es hin?	650