

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

# Vieweg Handbuch Kraftfahrzeug- technik

2., verbesserte Auflage

Mit 807 Abbildungen und 64 Tabellen

# Inhaltsverzeichnis

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>1</b>  | <b>Mobilität</b>  | <b>1</b>  |
| 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         |
| <b>2</b>  | <b>Anforderungen, Zielkonflikte</b>                                 | <b>9</b>  |
| 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 CGyAusstoß                                  | 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, Wegfahrsperr     | 27        |
| 2.2.6.3   | Fabrikschild, Fahrzeugidentifizierungsnummer                        | 28        |
| 2.2.6.4   | Messung der Motorleistung   | 28        |
| 2.2.6.5   | Massen und Abmessung von Klasse M]-Fahrzeugen                       | 28        |
| 2.2.7     | Ausblick  | 28        |
| 2.3       | Neue Technologien   | 28        |
| <b>3</b>  | <b>Fahrzeugphysik</b>   | <b>33</b> |
| 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        |
| <b>4</b> | <b>Formen und neue Konzepte.....</b>                            | <b>82</b> |
| 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.....  | 124 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| <b>5</b>  | <b>Antriebe</b>                                 | 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   | Vorkammerverfahren.....                              | 202 |
|     | 5.2.7.2   | Wirbelkammerverfahren.....                           | 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    | Dieseldieselkraftstoffe.....                         | 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   | Auftau.....  | 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   | Auftau.....  | 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 all radgetriebenen Fahrzeugen, Allradantrieb<br>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<br>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<br>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/electromechanisches 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<br>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        |
| <b>6</b> |         | <b>Aufbau.....</b>  | <b>298</b> |
|          | 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 Auftau.....   | 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 Verdeckauftau.....  | 320        |
|          |         | 6.1.3.5.2 Textillumfang.....  | 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 Grundausslegungen.....  | 359 |
|     | 6.4.1.3   | Entwicklungsmethoden, Einbindung der Ergonomie<br>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 Auftau des Klimagerätes.....  | 374 |
|     | 6.4.3.2.1 | Funktionen des Klimagerätes - Luft fördern.....                                    | 375 |
|     | 6.4.3.2.2 | Funktionen des Klimagerätes - Luft temperieren<br>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 des 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, Sitzlehne und Kopfstütze.....                                     | 397        |
| 6.5.8      | Zusammenwirken von Rückhaltesystemen und Fahrzeug.....                   | 398        |
| 6.5.8.1    | Unangegurterter.....   | 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        |
|            | <b>Fahrwerk.....</b>   | <b>409</b> |
| 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 Fahrzeuglängsrichtung.....              | 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 Bremsystemen                              | 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   | Bremskreisanteile  | 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 | Rahmensattel   | 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 |
|     | 1.2.4A3   | 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<br>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     | Reifenauftau . . . . .   | 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, Auftau 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 Notlaufseigenschaften . . . . .  | 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   | Materialentwicklungs . . . . .   | 459 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 7.4       | Fahrwerksauslegung.....   | 460 |
| 7.4.1     | Kinematik der Radaufhängung.....                                    | 460 |
| 7.4.1.1   | Radhubkinematik.....  | 460 |
| 7.4.1.2   | Lenkinematik.....   | 462 |
| 7.4.2     | Elastokinematik.....  | 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   | Lenkungskinetik.....  | 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 | Überlagerungslenkungen.....   | 503 |
| 7.4.6.2.3 | „Steerby 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 Fahreigenschaftenbeurteilung.....                        | 509 |
| 7.5.2     | Objektive Fahreigenschaftenbeurteilung.....                         | 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        |
| <b>8</b> | <b>Elektrik/Elektronik.....</b>                            | <b>528</b> |
| 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  | Auftau 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  | Batteriekenngrößen.....                                    | 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        |
| <b>9</b>  |           | <b>Werkstoffe und Fertigungsverfahren.....</b>                                   | <b>569</b> |
| 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 Urformung.....                                       | 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        |
| <b>10</b> |           | <b>Produktentstehungsprozess.....</b>  | <b>609</b> |
| 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 Prototypstufen.....                        | 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        |
| <b>11</b> | <b>Automobil und Verkehr - Wie kann es weitergehen?.....</b>                     | <b>642</b> |
| 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        |
| <b>12</b> | <b>Ausblick - Wo geht es hin?.....</b>   | <b>650</b> |