

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|----------|
| 1 | Mobilität | 1 |
| 1.1 | Einleitung | 1 |
| 1.2 | Ursachen und Arten der Mobilität | 2 |
| 1.2.1 | Definitionen | 2 |
| 1.2.2 | Aktivitäten bestimmen Mobilität | 3 |
| 1.2.3 | Transportsysteme für den Güterverkehr | 4 |
| 1.2.4 | Einige spezielle Ausprägungen von Mobilität | 4 |
| 1.3 | Spannungsfelder und Auswirkungen der Mobilität | 4 |
| 1.4 | Mobilitätsrelevante Anforderungen an Automobile | 5 |
| 1.4.1 | Grundsätzliche Anforderungen | 5 |
| 1.4.2 | Einige spezielle Anforderungen | 6 |
| 2 | Anforderungen, Zielkonflikte | 7 |
| 2.1 | Produktinnovation, bisherige Fortschritte | 7 |
| 2.1.1 | Kundenwünsche | 7 |
| 2.1.2 | Gesetzgebung | 8 |
| 2.1.3 | Fahrzeugtechnik | 9 |
| 2.2 | Anforderungen durch den Gesetzgeber | 15 |
| 2.2.1 | Zulassung zum Straßenverkehr | 15 |
| 2.2.2 | Die nationalen und supranationalen Rechtsquellen | 15 |
| 2.2.2.1 | Straßenverkehrsrecht mit StVZO | 15 |
| 2.2.2.2 | Rechtsakte der Europäischen Union | 17 |
| 2.2.2.3 | Regelungen der UN-Wirtschaftskommission für Europa | 18 |
| 2.2.2.4 | Weitere Maßnahmen zum Abbau von Handelshemmnissen | 18 |
| 2.2.3 | Unfallvorbeugung (aktive Sicherheit) | 19 |
| 2.2.3.1 | Allgemeines | 19 |
| 2.2.3.2 | Bremsanlage | 19 |
| 2.2.3.3 | Sichtfeld | 20 |
| 2.2.3.4 | Lichttechnische Einrichtungen | 20 |
| 2.2.4 | Unfallfolgenmilderung (passive Sicherheit) | 20 |
| 2.2.4.1 | Allgemeines | 20 |
| 2.2.4.2 | Insassenschutz bei Frontalaufprall | 20 |
| 2.2.4.3 | Insassenschutz bei Seitenaufprall | 21 |
| 2.2.4.4 | Fußgängerschutz | 21 |
| 2.2.5 | Anforderungen an das Emissionsverhalten | 21 |
| 2.2.5.1 | Allgemeines | 21 |
| 2.2.5.2 | Geräuschpegel und Auspuffanlage | 22 |
| 2.2.5.3 | Abgase | 22 |
| 2.2.5.3.1 | Emissionen von Kraftfahrzeugen | 22 |
| 2.2.5.4 | Elektromagnetische Verträglichkeit und Funkstörung | 24 |
| 2.2.6 | Verschiedenes | 25 |
| 2.2.6.1 | Anbringung des hinteren Kennzeichens | 25 |
| 2.2.6.2 | Sicherungseinrichtungen gegen unbefugte Benutzung, Wegfahrsperr, Diebstahlschutz | 25 |
| 2.2.6.3 | Fabrikschild, Fahrzeugidentifizierungsnummer | 25 |
| 2.2.6.4 | Messung der Motorleistung | 25 |
| 2.2.6.5 | Massen und Abmessungen von Klasse M ₁ -Fahrzeugen | 25 |
| 2.2.6.6 | Altfahrzeuge, Recycling | 25 |
| 2.2.7 | Ausblick | 26 |
| 2.2.8 | Normen | 26 |
| 2.2.8.1 | Einleitung | 26 |
| 2.2.8.2 | Nationale und internationale Struktur | 26 |
| 2.2.8.3 | Grundregeln der Normungsarbeit und Anwendung von Normen | 26 |

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

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

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

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

| | | |
|---------|--|-----|
| 5.2.5.5 | Qualitative Bewertung von Verbrennungsverfahren..... | 233 |
| 5.2.5.6 | Simulation der dieselmotorischen Verbrennung | 234 |
| 5.2.6 | Konstruktive und funktionale Merkmale des Dieselmotors..... | 235 |
| 5.2.6.1 | Zylinderkopf und Zylinderkurbelgehäuse | 235 |
| 5.2.6.2 | Einspritzsysteme..... | 236 |
| 5.2.6.3 | Aufladung..... | 242 |
| 5.2.6.4 | Abgasrückführung | 243 |
| 5.2.6.5 | Luftmanagement..... | 244 |
| 5.2.6.6 | Brennverfahren | 244 |
| 5.2.6.7 | Downsizing und Downspeeding..... | 244 |
| 5.2.7 | Abgasnachbehandlung..... | 245 |
| 5.2.7.1 | Oxidationskatalysator | 245 |
| 5.2.7.2 | Dieselpartikelfilter | 246 |
| 5.2.7.3 | Entstickung | 249 |
| 5.2.8 | Dieselmotorkraftstoffe | 252 |
| 5.2.9 | Regelung..... | 255 |
| 5.2.10 | Die Zukunft des Dieselmotors..... | 256 |
| 5.3 | Aufladung | 264 |
| 5.3.1 | Hintergrund..... | 264 |
| 5.3.2 | Aufladeprinzip | 265 |
| 5.3.3 | Konstruktiver Aufbau | 268 |
| 5.3.4 | Kopplung von Motor und Verdichter | 269 |
| 5.3.5 | Regelung..... | 270 |
| 5.3.6 | Motorkomponenten im unmittelbaren Zusammenhang zur Aufladung | 272 |
| 5.3.7 | Sonstige Regelungssysteme..... | 273 |
| 5.3.8 | Downsizing und Aufladung: Potenziale, Grenzen, Auswirkungen..... | 274 |
| 5.3.9 | Methoden in der Entwicklung | 275 |
| 5.3.10 | Ausblick..... | 276 |
| 5.4 | Triebstrang | 277 |
| 5.4.1 | Überblick..... | 277 |
| 5.4.1.1 | Einleitung | 277 |
| 5.4.1.2 | Aufgaben des Getriebes..... | 277 |
| 5.4.1.3 | Aufbau und Elemente des Triebstrangs..... | 279 |
| 5.4.1.4 | Achsantrieb..... | 279 |
| 5.4.1.5 | Differenzialgetriebe..... | 279 |
| 5.4.1.6 | Allrad-Verteilergetriebe..... | 280 |
| 5.4.1.7 | Gelenkwellen..... | 280 |
| 5.4.1.8 | Schwingungssystem..... | 280 |
| 5.4.2 | Anfahrelemente | 281 |
| 5.4.2.1 | Kupplungen | 281 |
| 5.4.2.2 | Hydrodynamische Drehmomentwandler..... | 284 |
| 5.4.3 | Das Handschaltgetriebe-System..... | 287 |
| 5.4.3.1 | Funktion und Aufbau..... | 287 |
| 5.4.3.2 | Verzahnung..... | 287 |
| 5.4.3.3 | Synchronisierung | 288 |
| 5.4.3.4 | Weitere Getriebekomponenten | 289 |
| 5.4.3.5 | Getriebeschaltung | 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 | Fahrdynamiksensoren | 337 |
| 5.6 | Abgasanlagen..... | 338 |
| 5.6.1 | Aufgaben der Abgasanlage..... | 338 |
| 5.6.2 | Katalysatoren..... | 339 |
| 5.6.3 | Partikelfilter | 340 |
| 5.6.4 | Canning und Monolith-Lagerung | 341 |
| 5.6.5 | Schalldämpfer..... | 343 |
| 5.6.6 | Akustische Abstimmung..... | 343 |
| 5.6.7 | Körperschall | 344 |
| 5.7 | Bordenergie-Management..... | 345 |
| 5.7.1 | Ausgangssituation..... | 345 |
| 5.7.2 | Der Klauenpolgenerator im Energiebordnetz..... | 346 |
| 5.7.2.1 | Leistungs- und Wirkungsgradverhalten..... | 346 |

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

| | | |
|----------|---|------------|
| 8.7.9 | Organisatorische Herausforderungen | 756 |
| 8.7.9.1 | Prozesse | 756 |
| 8.7.9.2 | Auswirkungen und langfristige Perspektiven..... | 756 |
| 8.8 | Moderne Methoden der Regelungstechnik | 757 |
| 8.8.1 | Anforderungen an Regelsysteme im Kraftfahrzeug | 757 |
| 8.8.2 | Moderne Reglerentwurfverfahren..... | 758 |
| 8.8.2.1 | Adaptive Regelung | 758 |
| 8.8.2.2 | Fuzzy-Regelung..... | 758 |
| 8.8.2.3 | I -Synthese..... | 759 |
| 8.8.2.4 | Neuronale Regelung | 759 |
| 8.8.2.5 | Norm-optimale Regelung | 760 |
| 8.8.2.6 | Prädiktive Regelung | 760 |
| 8.8.2.7 | Quantitative Feedback Theory (QFT) | 760 |
| 8.8.3 | Evaluierung moderner Regelungsverfahren | 761 |
| 8.8.4 | Ausblick..... | 761 |
| 9 | Fahrzeugsicherheit..... | 763 |
| 9.1 | Allgemein..... | 763 |
| 9.2 | Gebiete der Fahrzeugsicherheit..... | 764 |
| 9.3 | Ergebnisse aus der Unfallforschung | 764 |
| 9.3.1 | Einleitung | 764 |
| 9.3.2 | Amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik..... | 765 |
| 9.3.3 | Verkehrsunfalldaten der Versicherungen | 766 |
| 9.3.4 | „In-Depth“ Unfallerehebungen | 766 |
| 9.4 | Unfallvermeidende Sicherheit | 769 |
| 9.4.1 | Assistenzsysteme der Fahrzeugebene..... | 769 |
| 9.4.2 | Assistenzsysteme mit Umfeldsensorik..... | 770 |
| 9.4.2.1 | Systeme der Längsführung | 770 |
| 9.4.2.2 | Systeme der Querführung | 771 |
| 9.4.2.3 | Nachtassistentz | 772 |
| 9.5 | Biomechanik und Schutzkriterien..... | 773 |
| 9.5.1 | Biomechanik..... | 773 |
| 9.5.1.1 | Grundlagen | 773 |
| 9.5.1.2 | Belastungsgrenzen | 773 |
| 9.5.2 | Schutzkriterien..... | 774 |
| 9.5.3 | Simulationseinrichtungen | 776 |
| 9.5.3.1 | Kopf..... | 776 |
| 9.5.3.2 | Bein, Hüfte..... | 776 |
| 9.5.3.3 | Rumpf..... | 776 |
| 9.5.3.4 | Gesamtkörper..... | 776 |
| 9.6 | Quasistatische Anforderungen an die Karosserie | 776 |
| 9.6.1 | Sitz- und Sicherheitsgurtverankerungspunkttests..... | 776 |
| 9.6.2 | Dachfestigkeit..... | 777 |
| 9.6.3 | Seitenstruktur..... | 777 |
| 9.7 | Dynamische Fahrzeugkollision..... | 777 |
| 9.7.1 | Frontale Kollision..... | 777 |
| 9.7.2 | Seitliche Kollisionen..... | 779 |
| 9.7.3 | Heckkollision..... | 780 |
| 9.7.4 | Fahrzeugüberschlag | 780 |
| 9.8 | Insassenschutz..... | 781 |
| 9.8.1 | Fahrzeuginnenraum | 781 |
| 9.8.2 | Rückhaltesysteme | 781 |
| 9.8.2.1 | Sicherheitsgurte | 782 |
| 9.8.2.2 | Kinderrückhaltesysteme | 782 |
| 9.8.2.3 | Airbag-Systeme | 783 |
| 9.8.2.4 | Sitze, Sitzlehne und Kopfstütze..... | 785 |
| 9.8.3 | Zusammenwirken von Rückhaltesystemen und Fahrzeug | 785 |
| 9.8.3.1 | 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 Löten | 839 |
| 10.2.3.2 | Mechanische Fügeverfahren..... | 840 |
| 10.2.3.3 | Kleben..... | 843 |
| 10.2.4 | Fortschritte in der Um- und Umformung | 844 |
| 10.2.4.1 | Metalle..... | 844 |
| 10.2.4.1.1 | Innenhochdruckumformen | 844 |
| 10.2.4.1.2 | Hydromechanisches Umformen..... | 845 |
| 10.2.4.1.3 | Zwei-Platinen-Innenhochdruckumformen | 846 |
| 10.2.4.1.4 | Kaltfließpressen..... | 847 |
| 10.2.4.1.5 | Gießtechnik | 847 |
| 10.2.4.1.6 | Schmieden | 850 |
| 10.2.4.1.7 | Schmiedestahl..... | 850 |
| 10.2.4.2 | Polymere..... | 851 |
| 10.2.5 | Fortschritte in der Umweltverträglichkeit | 853 |

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

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

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